



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACÁDEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Remoción de nitritos y fosfatos en humedales artificiales empleando tres tipos de plantas acuáticas a nivel de laboratorio”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

AUTORES:

Alfaro Pereda, Kiara(0000-0001-5878-4416)

Arellano Zapata, Cristhian (0000-0001-5398-5518)

ASESOR:

Mg. Misael Villacorta González (0000-0002-5346-4824)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

CALIDAD Y GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES

TRATAMIENTO Y GESTION DE RESIDUOS

TRUJILLO – PERÚ

2018

PAGINA DEL JURADO

Título de Tesis

“Remoción de nitritos y fosfatos en humedales artificiales empleando tres tipos de plantas acuáticas a nivel de laboratorio.”

Alfaro Pereda, Kiara Madeley

Autor

Arellanos Zapata, Cristhian

Autor

Presentada a la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo para su aprobación.

Ing. Medardo Alberto Quezada

Presidente

Ing. Misael Ydibrando Villacorta
González

Secretario

Ing. Walter Moreno Eustaquio

Vocal

DEDICATORIA

Dedicamos principalmente a Dios, de igual forma está dedicado a nuestros padres las personas que nos dieron la vida, quienes nos han sabido formar con buenos valores y nos han guiado en el proceso de nuestra vida profesional.

Dedicamos también a nuestros abuelos, tíos por su apoyo y consejos; ya que siempre estuvieron allí para ayudarme. Y a nuestros hermanos para que vean en nosotros u ejemplo de superación y puedan seguir con sus sueños profesionales.

A nuestros amigos con los que nos hemos apoyado mutuamente durante nuestra formación profesional y que hasta hoy seguimos siendo grandes amigos.

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento al Ing. Medardo Alberto Quezada; por su asesoría, paciencia dedicación, motivación y criterio, que ha hecho posible culminar este proyecto. Un gran maestro.

Alfaro Pereda Kiara

A la universidad cesar vallejo y todos los docentes que a lo largo de mi formación como profesional compartieron sus conocimientos y me enseñaron a ser mejor cada día.

Arellanos Zapata, Cristhian

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Arellano Zapata, Cristhian con DNI N° 70027902, a efecto a cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de La Universidad Cesar Vallejo, Facultad De Ingeniería, Escuela De Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad ocultamiento u omisión tanto en los documentos como en la información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Arellanos Zapata, Cristhian

Trujillo, 21 de noviembre del 2018

Yo, Alfaro Pereda, Kiara con DNI N° 47216717 a efecto a cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de La Universidad Cesar Vallejo, Facultad De Ingeniería, Escuela De Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad ocultamiento u omisión tanto en los documentos como en la información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Alfaro Pereda, Kiara

Trujillo, 21 de noviembre del 2018

PRESENTACIÓN

Presentamos ante los miembros del jurado la tesis titulada:

“Remoción de nitritos y fosfatos empleando tres tipos de plantas acuáticas en humedales artificiales - Trujillo”, con la finalidad de obtener el grado de Ingeniero Ambiental y cumplir con el reglamento de la Universidad César Vallejo.

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

Los Autores

INDICE	
PAGINA DEL JURADO	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	5
PRESENTACIÓN.....	6
INDICE	7
RESUMEN.....	9
ABSTRAC	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Realidad Problemática.....	11
1.2 Trabajos Previos.....	13
1.3. Teorías relacionadas al tema	14
1.3.1 Contaminación ambiental.....	14
1.3.2 Aguas grises	14
1.3.3 Humedales	15
1.3.4 Humedales en la costa peruana	15
1.3.5 Tratamientos físico-químicos	18
1.3.6 Tratamientos biológicos	18
1.3.7 Humedales artificiales en el tratamiento biológico de las aguas.....	18
1.3.8 Humedales construidos o artificiales, tipos.....	20
1.3.9 Remoción física.....	20
1.3.10 Remoción biológica.....	20
1.3.11 Remoción química.....	20
1.3.12 Plantas acuáticas emergentes.....	20
1.4 Formulación del problema	20
1.5 Justificación del estudio	21
1.6 Hipótesis.....	22
1.6.1. Variables.....	22
1.7 Objetivos	22
1.7.1 Objetivo General	22
1.7.2 Objetivos Específicos	22
II. METODO	22
2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	22
2.2 VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN	24

2.2.1	VARIABLES	24
2.2.2	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	25
2.3	Población y muestra	26
2.3.1	Población	26
2.3.2	Muestra	26
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	26
2.4.1	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	26
2.4.2	Validez y confiabilidad	26
2.5	Métodos de análisis de datos	27
2.6	Aspectos éticos	27
III.	RESULTADOS	28
3.1	Preparación de la solución para humedales a 1.003 ppm de fosfatos ¡Error! Marcador no definido.	
3.2	Preparación de la solución para humedales a 0.1011 ppm de nitritos ¡Error! Marcador no definido.	
3.3	Preparación de curva de calibración para análisis de Fosfatos... ¡Error! Marcador no definido.	
3.4	Evaluación del grado de adsorción de fosfatos a diferentes tiempos	47
3.5	Curva de calibración de nitritos a 543 nm.....	48
IV.	DISCUSIÓN	34
V.	CONCLUSIONES	35
VI.	RECOMENDACIONES	35
VII.	REFERENCIAS	36
VIII.	ANEXOS	41

RESUMEN

La vida depende en gran manera del agua, razón por la cual se ha tomado como símbolo de vida; el agua juega un rol importante en las actividades humanas, la relación que la humanidad tiene con este líquido elemento es aún más importante (Mercado, 2012).

La contaminación por aguas residuales en los alcantarillados se ve incrementada por la presencia de fosfatos provenientes del aseo de las prendas de uso personal y familiar que se incrementa a los nitritos y nitratos provenientes de las escorrentías impactando los ambientes ecológicos por el crecimiento y muerte de las algas marinas reduciendo la presencia de oxígeno disuelto necesario para la vida acuática (Díaz Ana y Sotomayor Lenin, 2013).

En la presente investigación se estudió la remoción de nitritos y fosfatos por Plantas acuáticas, *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) y remoción de nitritos y fosfatos en aguas de humedales artificiales.

La presente investigación en humedal artificial se determinó que las planta *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) presenta mayor eficiencia en la remoción de nitritos y fosfatos alcanzando un 69.34% y 62.71% respectivamente; en comparación con los humedales artificiales de *Typha angustifolia* (Totora) con un 55.49% y 41,67% y *Cyperus rotundus* (Cebollin) con un 41.67% y 28.71% respectivamente.

El resultado de la presente investigación nos permite recomendar usar humedales para la remoción de nitritos y fosfatos de las aguas residuales antes de ser vertidas al mar.

PALABRA CLAVE: Nitritos y Fosfatos, Humedales artificiales.

ABSTRAC

Life depends largely on water, which is why it has been taken as a symbol of life; Water plays an important role in human activities, the relationship that humanity has with this liquid element is even more important (Mercado, 2012).

The contamination by sewage in the sewers is increased by the presence of phosphates from the cleaning of garments for personal and family use that increases to nitrites and nitrates from runoff, impacting ecological environments due to the growth and death of seaweed reducing the presence of dissolved oxygen necessary for aquatic life (Díaz Ana and Sotomayor Lenin, 2013).

In the present investigation the removal of nitrites and phosphates by aquatic plants, *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Water hyacinth) and *Cyperus rotundus* (Cebollin) and removal of nitrites and phosphates in waters of artificial wetlands were studied.

The present investigation in artificial wetland was determined that the *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth) plants show greater efficiency in the removal of nitrites and phosphates reaching 69.34% and 62.71% respectively; compared to the artificial wetlands of *Typha angustifolia* (Totora) with 55.49% and 41.67% and *Cyperus rotundus* (Cebollin) with 41.67% and 28.71% respectively.

The result of this research allows us to recommend using wetlands for the removal of nitrites and phosphates from wastewater before being discharged into the sea.

KEYWORD: Nitrites and Phosphates, Artificial wetlands.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

La vida depende en gran manera del agua, razón por la cual se ha tomado como símbolo de vida; el agua juega un rol importante en las actividades humanas, la relación que la humanidad tiene con el agua es aún más importante. El cambio de hábitos y costumbres en las ciudades con el tiempo ha degradado esta relación e influenciado negativamente en el ciclo del agua. (Mercado, 2012).

La necesidad de agua para los pobladores de la ciudad de Trujillo es de suma importancia, líquido vital para el desarrollo de las actividades humanas en la ciudad la cual necesita del abastecimiento permanente. Por esta razón el líquido elemento es distribuido de manera racional esto motiva la presente investigación. La ciudad de Trujillo tiene escasas fuentes naturales para abastecerse del líquido elemento, cerca de la ciudad cuenta con el río Moche, no hay en las cercanías lagos que permitan abastecer de agua a los pobladores de la ciudad. El abastecimiento principal es mediante un canal que trasvasa agua desde el Río Santa, perteneciente al proyecto especial de irrigación CHAVIMOCHIC. El acelerado crecimiento poblacional de la ciudad y la falta de programas integral de saneamiento y utilización del agua, complica día a día el abastecimiento de este líquido elemento a la población de Trujillo. El abastecimiento del agua se comparte entre los valles de la región del Santa y el de Virú en la región La Libertad, ocasionando escases, contaminación e inseguridad en su abastecimiento, estas son causales para que los gobernantes mediante la empresa operadora SEDALIB traten de encontrar nuevas alternativas para mejorar y garantizar, abastecimiento, disponibilidad y distribución, mejorando las estadísticas y expectativas respecto al agua en la ciudad, esto motiva proponer el reciclado las aguas residuales grises y utilizarlo en el riego de parques y jardines. Debemos incluir tecnologías sobre el ahorro y rehusó del agua, tratar de cambiar la cultura de la población al respecto. (SEDALIB, 2017).

El lavado de ropa con detergentes ha demostrado una buena eficacia, resolviendo el problema específico de lavado de prendas delicadas desplazando a los productos químicos para blanquear prendas de color, sin embargo, los componentes de estos detergentes son perjudiciales para el medio ambiente. La mayoría de los detergentes llevan como uno de sus componentes fosfatos que permiten el desprendimiento de las partículas sucias de la ropa. Estos fosfatos impactan de manera negativa el medio ecológico; su presencia en las aguas de los ríos y lagos acelera en el proceso de eutrofización ocasionando el crecimiento

desmedido y sin control de las algas, las cuales en su proceso de descomposición por bacterias utilizan el oxígeno disuelto en el agua necesario para la vida acuática en general. Los seres acuáticos mueren debido a la ausencia de oxígeno y, en consecuencia, los ríos y lagos quedan contaminados (Díaz Ana y Sotomayor Lenin, 2013).

Los humedales se han convertido en lugares de amortiguación de las aguas contaminadas con residuos orgánicos e inorgánicos los cuales son utilizados en parte como nutrientes, la utilización de los humedales artificiales simulando uno natural en el tratamiento de aguas residuales es por las reacciones bioquímicas de las plantas y microorganismos que se encuentran en las raíces mediante la producción de oxígeno por la fotosíntesis de estas plantas, la generación de material inerte utilizado como sustento por los microorganismos y las plantas hidrofitas. Los humedales construidos, mediante diferentes procesos físicos, químicos, biológicos y su interacción con el medio que los rodean logran mejorar la calidad de las aguas residuales, sedimentando, absorbiendo y mediante el metabolismo bacteriano. (Vidal, *et al* 2000).

Las plantas en los humedales adquieren cada vez más importancia debido a que ocasionan mecanismos de fitorremediación, de biorremediación, este proceso utiliza como filtros biológicos plantas superiores que descomponen, estabilizan, precipitan, absorben, degradan residuos orgánicos, así como metales pesados. Son utilizados preferentemente en la reducción de contaminantes como, plaguicidas, solventes, explosivos, petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales y lixiviados en vertederos, entre otros. Existen procesos de: Remoción física, biológica y química en los procesos de fitorremediación por humedales artificiales (Paredes 2015).

Las aguas residuales domesticas e industriales se tratan con diferentes tecnologías con la finalidad de cambiar sus propiedades físicas o químicas, así como reducir o eliminar el efecto toxico de estos componentes, y verter aguas que cumplan con los límites legales ambientales.

Los tratamientos de aguas residuales tienen como finalidad garantizar el vertimiento de estas dentro de los parámetros que exigen las reglamentaciones ambientales y esto se realiza separando, transformando las diversas sustancias que contaminan el agua.

En la presente investigación se evaluó la capacidad de remoción de tres tipos de plantas acuáticas, *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus*

rotundus (Cebollin), en humedales artificiales y tomará como referencia concentraciones de 3 mg NO⁻²/L, 3.5 mg/L PO₄⁻³ valores máximos permitidos en guas destinadas a su potabilización por el DS. N° 015-2015-MINAM.

1.2 Trabajos Previos

Investigaciones lograron probar utilizando plantas hidrofítas (*Phragmites communis*) que un sistema biológico da resultados eficientes en la remediación de aguas residuales de enjuague, desengrase y pasivado de la Línea de Galvanización Continuo de Acesco. El resultado de los análisis muestra una disminución de los contaminantes muy significativa, logrando demostrar que el sistema funciona de manera eficiente, razón por la cual se construyó una planta de tratamiento para aguas residuales utilizando humedales artificiales, potabilizando las aguas después del tratamiento para volver a ser utilizadas en los procesos productivos (Ramos, Y.; Uribe, I., 2009).

León Andrés (2017), utilizando, *Helianthus annuus*, girasoles y *Mentha pipertita*, menta, en un sistema de hidropónico, demostraron la reducción de compuestos como nitratos y fosfatos en aguas residuales estudiadas, logrando alcanzara un 60% en la remoción de nitratos y 40% de la remoción de fosfatos.

El problema de las aguas residuales radica alto contenido de microorganismos patógenos que contribuyen a la proliferación de enfermedades que afectan la salud humana como (el cólera, la disentería, el tifus, etc.). La actividad microbiana y aparición de olores desagradables se ve favorecida por el alto contenido de materia orgánica, esto trae como consecuencia el bajo nivel de oxígeno disuelto afectando la vida acuática. La eutrofización o crecimiento de manera descontrolada de las plantas acuáticas, favorecida por los nutrientes y luego la descomposición que disminuye el contenido de oxígeno disuelto ocasionan la extinción de peces y plantas. El aumento significativo de la concentración de metales o sustancias toxicas es letal. (Joaquim Comas, 2008, citado por Torres, Jocelyn, 2017. P.2).

Aguas residuales, domésticas, urbanas, industriales, de drenaje de extracciones mineras, esorrentía superficial agrícola y urbana han sido tratadas utilizando humedales artificiales. (Medina y López, 2015).

Espinoza, C. (2014), en la depuración de efluentes residuales con humedales obtuvo rendimientos de eliminación entre 80 a 95 % para la DBO5 y 70 a 95 % para SST, como también valores medios de 52 %, 40 % y 43 % para el nitrógeno orgánico, nitrógeno

amoniaco y fósforo total, respectivamente.

Para amortiguar el problema de contaminación de las aguas con metales pesados, existen métodos para su remoción, pero son costosos, siendo una de las alternativas económicas el uso de plantas proceso conocido como fitorremediación. Las plantas macrófitas acuáticas han demostrado eficiencia de remoción de sedimentos; la especie *Eichornia crassipes* mostrando resistencia a la exposición de concentraciones de mercurio lograron remover un alto porcentaje mediante la absorción. (Jaramillo, Mariuxi del Cisne, Flores Edinson, 2012, p.5).

Humedales construidos utilizando micrófitos flotantes en la fitorremediación lograron demostrar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con materia orgánica, nutrientes y sustancias tóxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio. Debido al bajo costo de instalación y poco consumo de energía convencional, es de importancia utilizarlo en poblados rurales siendo muy prácticos su montaje y sistema de operación de estos sistemas de tratamiento. Aun cuando los procesos de depuración de aguas residuales con micrófitos flotantes no están rigurosamente claros. (Martelo, J. y Lara, J., 2012, pp. 221).

Los humedales artificiales se presentan como una nueva opción en la reducción de la contaminación ocasionada por aguas residuales, lograr rendimientos eficientes está supeditado al diseño y operación de estos humedales adecuando las características al agua a tratar (Miglio Toledo y Villarreal Cárdenas, 2012).

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1 Contaminación ambiental.

Agentes físicos, químicos o microbiológicos que ocasionan efectos nocivos en los seres vivos, poniendo en peligro la existencia de la vida en nuestro medio se conoce como contaminación ambiental.

1.3.2 Aguas grises

El agua gris es un agua que ha sido utilizada dentro del hogar en diversas labores y tiene una calidad menor que el agua potable y mayor que un agua residual negra. El agua gris proviene de las descargas de la lavadora, lavabo, ducha, y lavado y enjuagado de ropa. El agua gris no incluye descargas del WC, fregadero y lavado de trastes debido a que el agua contiene un alto contenido de materia orgánica (Llanos, 2012).

1.3.3 Humedales

Medio acuático poco profundo formado por plantas acuáticas flotantes o sumergidas, conocidos como humedales.

- Plantas flotantes, toman los nutrientes mediante las raíces sumergidas y tomando dióxido de carbono y liberando el oxígeno a la atmosfera mediante el proceso de fotosíntesis.
- Plantas sumergidas, absorben dióxido de carbono y nutrientes del agua, liberando dióxido de carbono en el mismo medio. Las aguas turbias limitan el paso de la luz solar, afectando la fotosíntesis.



Figura 1. Métodos de Biorremediación

1.3.4 Humedales en la costa peruana

En la zona costera peruana se presentan humedales formando un corredor biológico, con diferentes variedades de especies y estructuras particulares donde anidan y viven peces, aves entre otras, relacionadas a la actividad del hombre.

Desde la época de los Chimú la costa de la ciudad de Trujillo presenta humedales conocidos como Los valsares ubicados en la costa de nuestra región La Libertad desde tiempos de los mochicas, chimús presentan especies que fueron utilizadas en la investigación realizada: *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollín).

Typha angustifolia (Totora), es una planta perenne herbácea del género *Typha*, se encuentra en el Hemisferio Norte en lugares pantanosos, también se encuentra en algunos humedales de Perú y Chile, crece desde el nivel del mar hasta los 3500 msnm.

Tabla N° 1. Taxonomía

<i>Typha angustifolia</i>	
Taxonomía	
Reino:	<i>Plantae</i>
Subreino:	<i>Tracheobionta</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Liliopsida</i>
Orden:	<i>Poales</i>
Familia:	<i>Typhaceae</i>
Género:	<i>Typha</i>
Especie:	<i>T. angustifolia</i> L.



Figura N° 2. *Typha angustifolia* (Totorá)

***Cyperus rotundus* (Cebollín)**, es una hierba perenne de la familia de las ciperáceas. Dotada de un robusto sistema de raíces y rizomas subterráneos, es extremadamente resistente e invasiva, y se le considera una de las peores plagas para los cultivos tropicales y subtropicales,.

Tabla N° 2. Taxonomía

Taxonomía	
Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Liliopsida</i>
Orden:	<i>Cyperales</i>
Familia:	<i>Cyperaceae</i>
Género:	<i>Cyperus</i>
Especie:	<i>Cyperus rotundus</i>



Figura N° 3. *Cyperus rotundus* (Cebollin)

Eichhornia crassipes (Jacinto de agua), Plantas acuáticas pertenecientes a la familia *ponteridácea*, oriundas del Continente Americano, viven en las aguas tranquilas de ciénagas, presas, micropresas, lagunas, zanjas, arroyos y ríos. Su nombre científico es *Eichhornia crassipes*.

Tabla N° 3. Taxonomía

Taxonomía	
Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Liliopsida</i>
Orden:	<i>Commelineales</i>
Familia:	<i>Pontederiaceae</i>
Género:	<i>Eichhornia</i>
Especie:	<i>Eichhornia crassipes</i>



Figura N° 4. *Eichhornia crassipes*

Tabla N°4. Tipos de fitorremediación

Procedimiento de las plantas en la reducción de contaminantes.		
Tipo	Proceso Involucrado	Contaminantes Tratados
Fito extracción	Los metales son acumulados en las hojas y raíces.	Mercurio, cadmio, cobalto, cromo, níquel, plomo, plomo selenio, zinc
Rizo filtración	Los metales se absorben, precipitan, acumulan o degradan compuestos orgánicos a través del sistema radicular.	Sustancias fenólicas, metales pesados e isótopos radioactivos.

Fito estabilización	Los vegetales reducen los metales en estado iónico no permitiendo su difusión en las aguas subterráneas.	Depósitos de relaves mineros, compuestos fenólicos y clorados.
Fito estimulación	El sistema radicular favorece el desarrollo de bacterias y hongos que degradan los contaminantes.	Derivados del petróleo y poli aromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.
Fito volatilización	Los compuestos orgánicos y metales absorbidos transformados son evacuados a la atmosfera mediante la transpiración.	Solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano), mercurio, selenio.
Fito degradación	Es la transformación de compuestos orgánicos en sustancias menos tóxicas, mediante la absorción por las plantas terrestres y acuáticas.	Pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, explosivos, nitrobenzeno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, entre otros.

Fuente: <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1¬e=36>

1.3.5 Tratamientos físico-químicos

Mediante procesos fisicoquímicos las plantas degradan la materia orgánica y absorben algunos metales transformándolos en sustancias inocuas o menos peligrosas reduciendo su efecto toxico.

1.3.6 Tratamientos biológicos

Conocido como biorremediación, son variados mecanismos que utilizan las plantas, bacterias u hongos, etc., para degradar, transformar o remover materia orgánica consideradas toxicas en otros menos tóxicos.

1.3.7 Humedales artificiales en el tratamiento biológico de las aguas.

Se consideran a las áreas construidas por el hombre donde se llevan a cabo mecanismos de degradación y remoción de contaminantes de las aguas residuales, mediante procesos físicos, biológicos y químicos.

La Fundación Kennedy, define los humedales como: "Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros" muy

importante para la humanidad como hábitat de aves acuáticas.

Las plantas acuáticas disminuyen la contaminación de sustancias orgánicas e inorgánicas, abastecen de nutrientes a aves y organismos acuáticos. El metabolismo bioquímico de microorganismos, el oxígeno fotosintético de las plantas y la presencia de material inorgánico hace posible el desarrollo de plantas hidrófilas, realizando el proceso de biorremediación, alcanzando niveles de importancia, las plantas superiores actúan como filtros biológicos descomponiendo, estabilizando, precipitando, absorbiendo metales pesados o degradando compuestos orgánicos.

Los humedales se utilizan para disminuir la presencia de metales pesados, plaguicidas, solventes, explosivos, petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos y lixiviados en aguas que van a desembocar al mar, presentan buena eficiencia física en la remoción de materiales que se encuentra suspendidos en el agua. Su velocidad de flujo es lenta por la resistencia de tallos y raíces de los variados vegetales que absorben las sustancias que contaminan como nutrientes, ejemplo Nitrato, Amonio y Fosfato, tomados del humedal. Algunas variedades de plantas en el humedal absorben, acumulan significativamente metales tóxicos, como Cadmio, Cromo y Plomo haciendo simbiosis con bacterias y otros microorganismos que los reducen precipitándolos ocasionando la mineralización del suelo. La absorción es el proceso más significativo de la remoción química, reteniendo o inmovilizando las sustancias contaminantes.

Las plantas macrofitas han sido eficientes remediando aguas conteniendo nitratos y fosfatos, materia orgánica y metales como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio, mediante procesos de fitorremediación: fitoextracción, fitoestabilización, fitovolatilización, fitotransformación, fitoestimulación, fitodegradación, y rizofiltración [Sandoval, 2005; Fernández, 2001, Freer, 2008, Rahman and Hasegawa, 2011). Las plantas acuáticas o macrofitas, como sistema biológico de tratamiento de aguas residuales han sido poco estudiadas (Miglio 2003, Bolaños, 2008). Aun conociendo su eficiente desempeño en la absorción de nutrientes y descomposición de materia orgánica (Lyon 2006, Brix 1989, Ellis, 1994, Peterson, 1996). Sus raíces no pueden vivir sobre un sustrato, manteniendo siempre las raíces asimiladoras flotando sobre el agua (Fernández, 2001). Las macrofitas han sido estudiadas en la absorción de metales pesados, por ejemplo, la *Salvinia rotundifolia* ha demostrado una gran eficiencia en la absorción de plomo (Banerjee, 1997); *S. herzogii* de la Sota (Salviniaceae) y *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) son excelentes

bioabsorbedores de cadmio, níquel, cobre, zinc, cromo y plomo (Delgado, 1993, Schneider, 1993); y *Pistia stratiotes* L. (*Araceae*) mostro gran capacidad en el tratamiento de efluentes industriales con varios metales (Satyakala , 1997, Maine , 2001).

1.3.8 Humedales contruidos o artificiales, tipos.

Se clasifican por el desplazamiento superficial o subterránea del agua. En algunos casos el agua se desplaza por la superficie entre los tallos de las hidrofitas expuestas a la atmósfera, a poca profundidad (cerca de 40 cm) con plantas acuáticas.

En otros humedales el desplazamiento del agua es a nivel del suelo a profundidad media de 60 cm, en interactuando con raíces de las macrófitas, infiltrando de agua el terreno.

1.3.9 Remoción física

Constituye la remoción de material en suspensión como consecuencia del desplazamiento lento de las aguas y la resistencia de las raíces de las especies vegetales, logrando la remoción física.

1.3.10 Remoción biológica.

Es el proceso más importante de los humedales, las plantas absorben los contaminantes como nutrientes al Nitrato, Amonio y Fosfato. Algunas especies vegetales captan y acumulan nutrientes, metales tóxicos, como Cadmio, Cromo y Plomo; ayudando a la mineralización del suelo con la ayuda de los microorganismos existentes (Beltrán, Mayra y Gómez, Alida, 2016)

1.3.11 Remoción química.

La remoción química se realiza reduciendo u oxidando los componentes en estado iónico insolubles en la solución (agua) a sustancias de valencia cero, precipitándolos al suelo. Este intercambio de electrones permite el depósito de la materia insoluble sobre la superficie de los suelos de arcilla y materia orgánica (Pitan y Palomino 2017).

1.3.12 Plantas acuáticas emergentes.

Se llama a las plantas que sus hojas y tallos emergen sobre la superficie del agua, y sus raíces se encuentran fijas en el suelo ejemplos, carrizos, juncos, ineas entre otras, logrando alcanzar una altura de 1 a 2 metros.

1.4 Formulación del problema

¿Cuál es el efecto en la remoción de nitritos y fosfatos por las plantas acuáticas, *Typha angustifolia* (*Totora*), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus*

(Cebollin), en de humedales artificiales a nivel de laboratorio?

1.5 Justificación del estudio

Las aguas marinas y las especies que viven en ellas se ven afectadas debido a la contaminación de las aguas por los vertederos de aguas residuales no tratadas de manera eficiente, esta contiene metales pesados como subproducto de las industrias o nitritos debido a la descomposición de materia orgánica, así como fosfatos generado por el agua de lavado de ropa.

Parte de las aguas residuales se debe reutilizar por las familias en el regadío de sus parques y jardines permitiendo ahorrar una cantidad considerable de agua potable, sobre todo las aguas grises de lavado de ropa e higiene personal.

La presente investigación pretende contribuir a disminuir el gasto por persona de agua potable reciclando las aguas grises contribuyendo a la economía familiar.

La contaminación del agua debido al incremento de la población y concentración en zonas urbanas con microorganismos, productos químicos, residuos industriales o aguas residuales en forma desmedida deterioran la calidad de la misma sobrepasando su capacidad natural depuración (Universidad Mariano Gálvez, 2012)

Los humedales artificiales depuran las aguas de sólidos en suspensión, nitritos, fosfatos y metales pesados, es un tratamiento de bajo costo, disminuyendo eficazmente metales, trazas orgánicas y patógenos (Sanabria, 2010).

La instalación de humedales artificiales requiere un área cercana de 3 a 5 m² por persona, se recomienda su uso en comunidades chicas como centros educativos, poblaciones rurales (Carbajal Rowan, 2018).

Los parámetros permisibles de la calidad del agua residual se alcanza aplicando diversos tratamientos en comunidades pequeñas, muy diferentes a los diseños de plantas depuradoras para grandes. Constituye una alternativa para comunidades de baja población el uso de humedales por ser su costo de instalación bajo.

En la presente investigación se definen las variables:

Plantas acuáticas, *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Cyperus rotundus* (Cebollin) y remoción de nitritos y fosfatos en aguas de humedales artificiales.

1.6 Hipótesis

H₁: Las Plantas acuáticas, *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) si remueven los nitritos y fosfatos en humedales artificiales a nivel de laboratorio.

H₀: Las Plantas acuáticas, *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) NO remueven los nitritos y fosfatos en humedales artificiales a nivel de laboratorio.

1.6.1. Variables

VI: Las Plantas acuáticas. *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin).

VD: Remoción de nitratos y fosfatos en aguas de humedales artificiales a nivel de laboratorio.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Evaluar la remoción de nitritos y fosfatos por las plantas acuáticas, *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) en humedales artificiales a nivel de laboratorio.

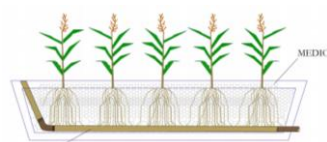
1.7.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la concentración de Nitritos y Fosfatos en una muestra de aguas grises domiciliarias -Trujillo.
- Evaluar los porcentajes de remoción de Nitritos y Fosfatos en aguas de humedales artificiales a nivel de laboratorio, por cada una de las plantas acuáticas *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin).
- Comparar la remoción de Nitritos y Fosfatos entre las plantas acuáticas *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) después del tratamiento.

II. METODO

2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Plantas acuáticas: *Typha angustifolia*



M_0  M_i

t

Plantas acuáticas: *Eichhornia crassipes*

M_0    M_i

t

Plantas acuáticas: *Cyperus rotundus* (Cebollin)

M_0    M_i

t

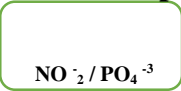

M_0 Concentración inicial de Nitritos y Fosfatos en aguas de humedales artificiales


M_i Concentración de Nitritos y Fosfatos en aguas de humedales artificiales después del estímulo.

Plantas acuáticas: *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin).

t: Tiempo 7, 14, 21, 28 y 35 días

Humedales artificiales Tiempo: 7, 14, 21, 28 y 35 días

M_{01} : *Typha angustifolia*   $M_7, M_{14}, M_{21}, M_{28}, M_{35}$

M_{02} : *Eichhornia crassipes*   $M_7, M_{14}, M_{21}, M_{28}, M_{35}$

M_{03} : *Cyperus rotundus*   $M_7, M_{14}, M_{21}, M_{28}, M_{35}$

M₀₁: Blanco

NO₂⁻ / PO₄⁻³



M₇, M₁₄, M₂₁, M₂₈, M₃₅

2.2 VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN

2.2.1 VARIABLES

a. Variables Independientes

Plantas acuáticas: *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollín).

b. Variable Dependiente

Remoción de Nitritos y Fosfatos en aguas de humedales artificiales.

2.2.2 VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN

Tabla N° 5. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORE	ESCALA
Independiente Humedal artificial con plantas acuáticas, <i>Typha angustifolia</i> (Totora), <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua) y <i>Cyperus rotundus</i> (Cebollin).	Plantas que crecen en los humedales de la costa peruana y de forma controlada, producen mecanismos de absorción como nutrientes de nitritos y fosfatos.	En depósitos rectangulares se añadió por separado 50 litros de aguas conteniendo nitritos a una concentración de 0.1011 ppm y fosfatos A 1.003 ppm, respectivamente, allí se cultivaron las plantas acuáticas, <i>Typha angustifolia</i> (Totora), <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua) y <i>Cyperus rotundus</i> (Cebollin) por un tiempo de 35 días.	Densidad: Plantas/m ²	Razón
Dependiente: Remoción: absorción de Nitritos y Fosfatos	La capacidad de algunas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el agua se llama remoción.	A los 7, 14, 21, 28 y 35 días se analizó el contenido de nitritos y fosfatos en la solución, se comparó cuál de las plantas tiene mayor capacidad de remoción. $R = \{(Ci - Cf) / Ci\} * 100$	% Remoción	Razón

Fuente: Elaboración Propia

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

La población considerada equivale al 60% del total de agua residual generada en la ciudad de Trujillo la que equivale a 22,731 m³/día. Los análisis realizados a las muestras de aguas residuales domesticas provenientes de lavado de ropa y aseo personal se tomaron como referencia para considerar la concentración de la solución en nitritos y fosfatos a tratar estas fueron, concentración de 0.1011 ppm de nitritos y 1.003 ppm de fosfatos, las cuales fueron preparadas en laboratorio. Las plantas consideradas en los humedales fueron a una densidad de 33 unidades por metro cuadrado.

2.3.2 Muestra

Se tomó como muestras 150 litros de la solución preparada en laboratorio conteniendo nitritos 0.1011 ppm y fosfatos a una concentración de 1.003 ppm, para abastecer los humedales artificiales, se realizaron tres replicas por cada prueba.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

La determinación de nitritos y fosfatos se realizaron mediante el método espectrofotométrico ya normalizados para estos análisis, en el espectrofotómetro UNICO 2800 UV-Vis; Laboratorio de Química E-403 de la Universidad Cesar Vallejo – Trujillo.

Tabla 6. Parámetros analizados

PARÁMETRO	MÉTODO	NORMA
NO ₂ ⁻¹ total	Espectrofotométrico Colorimétrico	Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales 4500-SO ₄ ²⁻ E. APHA-AWWA-WEF (2012)
PO ₄ ⁻³ total	Espectrofotométrico Colorimétrico	Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales 4500-SO ₄ ²⁻ E. APHA-AWWA-WEF (2012)

Fuente: Propia

2.4.2 Validez y confiabilidad

Los instrumentos de recolección de datos serán validados por dos expertos con el grado de magister o doctor, de acuerdo a los objetivos y variables de la presente investigación.

2.5 Métodos de análisis de datos

Los datos recolectados se analizaron mediante el estadístico Shapiro Wilk para determinar su normalidad. Se utilizará el método estadístico de análisis de varianza (ANOVA) prueba TUKEY

2.6 Aspectos éticos

La información presentada será veraz y en caso de tomar información de otros autores serán citadas respetando la autoría de las personas que contribuyen con sus publicaciones y otros, durante la presente investigación, se garantizaran el cuidado y respeto al medio ambiente, se respetara las ideologías políticas y morales.

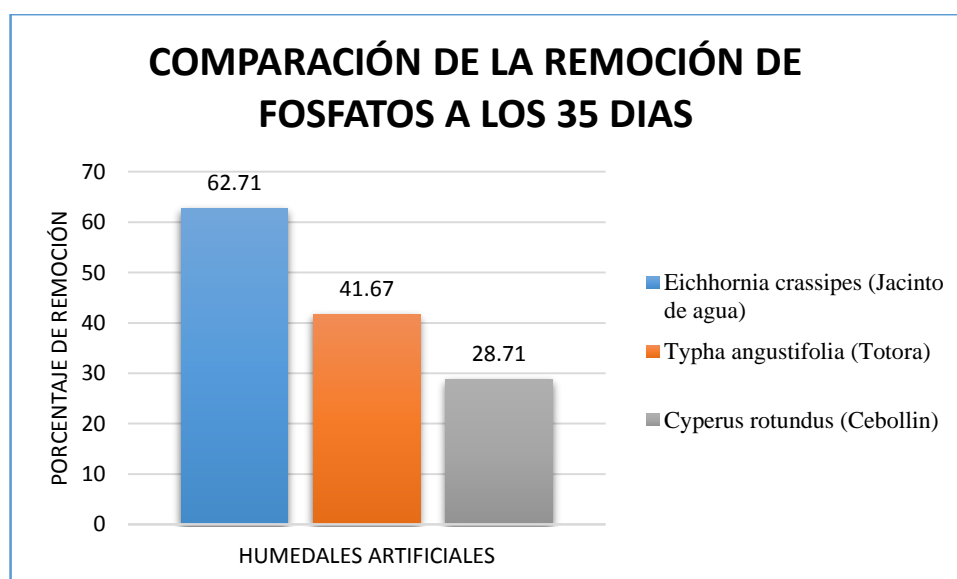
III. RESULTADOS

Tabla 7. Comparación de los porcentajes de remoción de Fosfatos

Tiempo de tratamiento (Días)	PO ₄ -3 Remoción (ppm)		
Especies	<i>Typha angustifolia</i> (Totora)	<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	<i>Cyperus rotundus</i> (Cebollin)
	Remoción %	Remoción %	Remoción %
0	0	0	0
7	1.99	3.89	1.50
14	6.78	9.57	4.39
21	27.32	31.61	23.43
28	30.11	47.36	25.42
35	41.67	62.71	28.71

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: En la Tabla N° 7, se muestra los resultados de la remoción de fosfatos cada siete días por las tres plantas utilizadas *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin), hasta la remoción final analizada a los 35 días, donde observamos que la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) remueve el 62.71%, superando a las otras plantas.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5. En la figura se observa los porcentajes de remoción de fosfatos, donde la

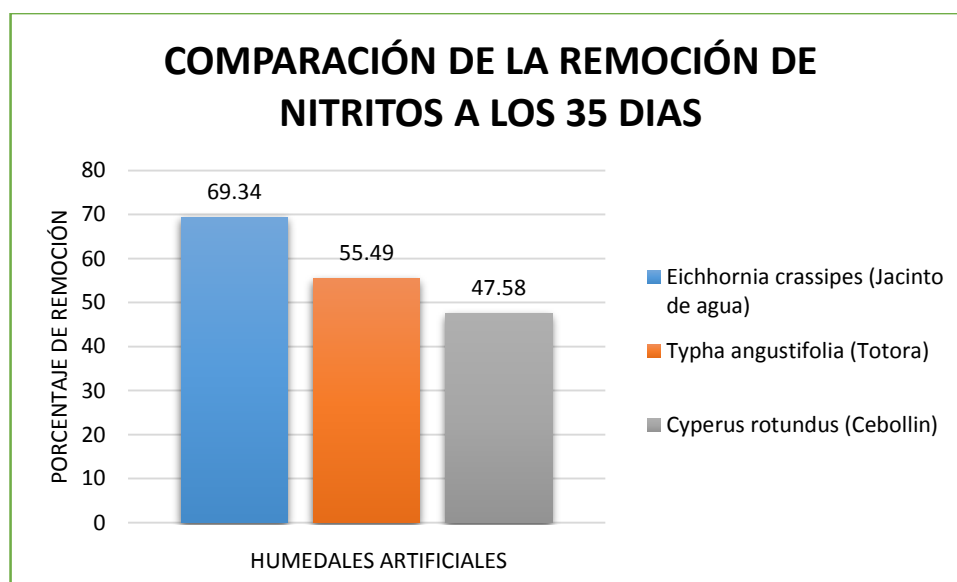
Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) remueve el mayor porcentaje a los 35 días, 62.71%.

Tabla 8. Comparación de porcentajes de remoción de nitritos

Tiempo de tratamiento (Días)	NO ₂ - Resultante (ppm)		
Especies	<i>Typha angustifolia</i> (Totorá)	<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	<i>Cyperus rotundus</i> (Cebollín)
	Remoción %	Remoción %	Remoción %
0	0	0	0
7	5.044	6.033	7.022
14	12.561	15.232	8.605
21	32.739	44.609	29.772
28	47.082	58.358	35.212
35	55.49	69.34	47.58

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 8, se observa la remoción de nitritos realizada por las plantas *Typha angustifolia* (Totorá), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollín), analizadas cada siete días, logrando a los 35 días el mayor porcentaje de remoción la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) con un 69.34%.



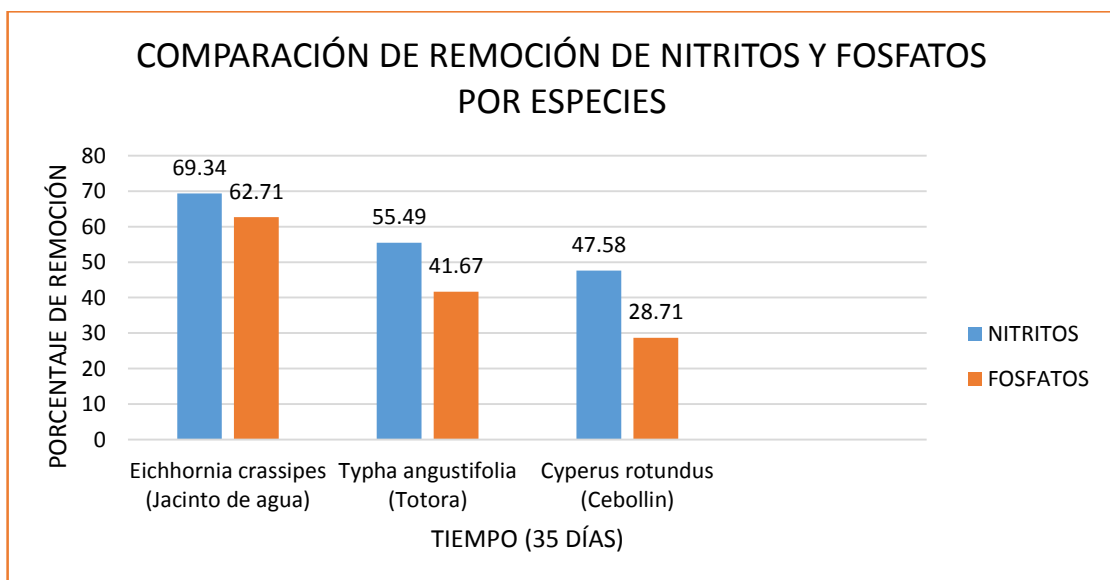
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 6. Muestra la comparación de absorción de nitritos en porcentajes de remoción a los 35 días donde la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) remueve el mayor porcentaje con un 69.34%.

Tabla N° 9. Comparación de la remoción de Nitritos y Fosfatos por las especies

Especies	<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)		<i>Typha angustifolia</i> (Totora)		<i>Cyperus rotundus</i> (Cebollin)	
Tiempo (Días)	Remoción % NO ₂ -	Remoción % PO ₄ -3	Remoción % NO ₂ -	Remoción % PO ₄ -3	Remoción % NO ₂ -	Remoción % PO ₄ -3
35	69.34	62.71	55.49	41.67	47.58	28.71

En la Tabla N° 9, se compara la remoción de fosfatos y nitritos a los 35 días, observándose que remueve en mayor porcentaje *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) con un 69.32% de nitritos y 62.71% de fosfatos.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7. Grafico donde se observa que las plantas tienen mayor preferencia por los nitritos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para realizar el análisis ANOVA, los datos obtenidos previamente se analizaron para determinar si obedecen a un comportamiento normal, mediante el estadístico Shapiro Wild

Tabla N° 10. Prueba de Normalidad Nitritos

Pruebas de normalidad Nitritos				
Días		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje	7	,750	3	,070
	14	,987	3	,780
	21	,881	3	,328
	28	1,000	3	1,000
	35	,972	3	,678
a. Corrección de la significación de Lilliefors				

Los resultados del estadístico Shapiro Wild muestran que los valores obtenidos en la absorción de nitritos tienen una probabilidad $p > 0.05$ razón por la cual los datos obedecen a un comportamiento normal.

Tabla N° 11. Prueba de normalidad para Fosfato

Pruebas de normalidad Fosfato				
Días		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje	7	,891	3	,357
	14	,997	3	,899
	21	,999	3	,935
	28	,904	3	,398
	35	,989	3	,802

Del mismo modo los resultados del estadístico Shapiro Wild muestran que los valores obtenidos en la absorción de fosfatos tienen una probabilidad $p > 0.05$ razón por la cual los datos obedecen a un comportamiento normal.

Una vez determinado el comportamiento normal de los datos obtenidos en la presente investigación, realizamos la prueba de homogeneidad de las varianzas.

Tabla N° 12. Prueba de homogeneidad de varianzas para Nitritos

Porcentaje

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2,281	3	8	,156

Tabla N° 13. Prueba de homogeneidad de varianzas para Fosfatos

Porcentaje

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1,358	2	12	,294

El análisis de homogeneidad de las varianzas de la absorción de nitritos y fosfatos nos da una probabilidad $p > 0.05$ razón por la cual se asume que cumplen con el supuesto de homogeneidad.

Ahora realizamos los análisis de varianza, ANOVA, para analizar las hipótesis.

Tabla N° 14. ANÁLISIS DE VARIANZA NITRITOS

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrado s	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo planta	0,049	2	0,024	9,366	0,008	4,459
Días	0,600	4	0,150	57,888	0,000	3,838
Error	0,021	8	0,003			
Total	0,670	14				

En la Tabla se observa que el valor de la probabilidad obtenida es ($p < 0.05$) entonces se acepta la H1: Las Plantas acuáticas, *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) si remueven los nitritos en humedales artificiales a nivel de laboratorio.

Tabla N° 15. ANÁLISIS DE VARIANZA FOSFATOS

Origen de las variaciones	Suma de cuadrado s	Grados de libertad	Promedio de los cuadrado s	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo Planta	0,053	2	0,027	5,703	0,029	4,459
Días	0,386	4	0,096	20,680	0,000	3,838
Error	0,037	8	0,005			
Total	0,476	14				

Se observa que le valor de la probabilidad ($p < 0.05$) entonces se acepta la H1: Las Plantas acuáticas, *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) si remueven los fosfatos en humedales artificiales a nivel de laboratorio.

Ahora realizamos la prueba de Tukey, para comparar y determinar cuáles de las plantas presentan mayor remoción

Tabla N° 16. HSD de Tukey *Nitritos: Remoción de nitritos por tipos de planta*

Tipo de planta	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
<i>Cyperus rotundus</i>	4	19,5525
<i>Typha angustifolia</i>	4	24,2050
<i>Eichhornia crassipes</i>	4	31,1775
Sig.		,703

Donde podemos observar que el mejor tratamiento ha sido con la planta *Eichhornia crassipes*

Tabla N° 17. HSD de Tukey, Remoción de Fosfatos por tipo de planta

Tipo Planta	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
<i>Cyperus rotundus</i>	5	16,6780
<i>Typha angustifolia</i>	5	21,7520
<i>Eichhornia crassipes</i>	5	31,0180
Sig.		,474

Donde podemos observar que el mejor tratamiento ha sido con la planta *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)

IV. DISCUSIÓN

- a. Los humedales artificiales tienen un efecto favorable en la remoción de nitritos y fosfatos, como se puede observar en los resultados de la presente investigación en la Tabla N° 9; coincidiendo con los resultados obtenidos por Medina y López (2015) quien en su investigación concluye que, las aguas residuales, domésticas, urbanas, industriales, de drenaje de extracciones mineras, escorrentía superficial agrícola y urbana han sido tratadas utilizando humedales artificiales.
- b. Los humedales artificiales constituidos por las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Typha angustifolia* (Totora) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) utilizados en la presente investigación, han removido a los 35 días el 69.34%, 55.49% y 47.58% de nitritos respectivamente; así como 62.71%, 41,67% y 28.71% de fosfatos respectivamente, como se puede observar en la figura N° 7; porcentajes de remoción parecidos a los alcanzados por León Andrés (2017), quien utilizando, *Helianthus annuus* (girasoles) y *Mentha pipertita* (menta), en un sistema hidropónico, removieron nitratos y fosfatos en aguas residuales alcanzando un 60% en la remoción de nitratos y 40% de la remoción de fosfatos.
- c. Los humedales artificiales representan una alternativa en la disminución de la contaminación de las aguas marinas con nitritos y fosfatos contenidas en las aguas residuales, que ocasionarían eutrofización y destrucción de la vida en el mar; esto va a depender del diseño, operación y adecuación de los humedales coincidiendo con la investigación realizada por Miglio Toledo y Villarreal Cárdenas (2012), quienes concluyen en su investigación que los humedales artificiales son una nueva opción en la reducción de la contaminación ocasionada por aguas residuales.
- d. En la investigación realizada se ha determinado que las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Typha angustifolia* (Totora) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) tienen mayor preferencia en la absorción de los nitritos y que los fosfatos, coincidiendo con la investigación de León Andrés (2017), quien utilizando, *Helianthus annuus*, girasoles y *Mentha pipertita*, menta, en un sistema de hidropónico, demostraron la reducción de compuestos como nitratos y fosfatos en aguas residuales en un 60% en la remoción de nitratos y 40% de la remoción de fosfatos.
- e. Se ha podido determinar en la presente investigación que el humedal artificial constituido por *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) tiene mayor porcentaje de

remoción de nitritos y fosfatos con un 69.34% y 62.71% respectivamente; frente a los humedales artificiales constituidos por *Typha angustifolia* (Totora) con un 55.49% y 41,67% respectivamente y *Cyperus rotundus* (Cebollin) con un 41.67% y 28.71% respectivamente

V. CONCLUSIONES

- a. De acuerdo a los resultados podemos concluir que los humedales artificiales constituidos por las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Typha angustifolia* (Totora) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) si remueven los nitritos y fosfatos a nivel de laboratorio.
- b. De los humedales artificiales utilizados la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) es la que remueve en mayor porcentaje nitritos y fosfatos en solución de los humedales artificiales a nivel de laboratorio.
- c. En la investigación realizada se ha determinado que las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Typha angustifolia* (Totora) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) remueven en mayor proporción los nitritos y en menor proporción los fosfatos, como se puede observar en la Tabla N° 9.
- d. En las primeras semanas el porcentaje de absorción por las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Typha angustifolia* (Totora) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) es lento debido al estrés ocasionado por el trasplante, luego la velocidad de absorción aumenta.

VI. RECOMENDACIONES.

- a. De los resultados de la presente investigación podemos recomendar el uso de humedales artificiales para la remoción de nitritos y fosfatos de las aguas residuales antes de ser depositadas en el mar.
- b. Se recomienda continuar con la investigación utilizando otras variedades de plantas en humedales artificiales y a concentraciones mayores de nitritos y fosfatos.
- c. Se recomienda estudiar el comportamiento en la remoción de nitritos y fosfatos por las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Typha angustifolia* (Totora) y *Cyperus rotundus* (Cebollin) considerando mayor tiempo de absorción.
- d. Recomendamos realizar una investigación en humedales artificiales a flujo continuo para determinar el tiempo de residencia de la mejor remoción.

- e. Se recomienda evaluar la influencia del pH de la solución en la absorción de nitritos y fosfatos por las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Typha angustifolia* (Totora) y *Cyperus rotundus* (Cebollín).

VII. REFERENCIAS

ARIAS Carlos. /Hans Brix, Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Ciencias e ingeniería Neogranadina, 2013, número 013. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, pp.17-24.

BELTRÁN-Pineda, Eleonora, Gómez-Rodríguez, Alida Marcela, Biorremediación de Metales Pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg), Mecanismos Bioquímicos e Ingeniería Genética. Disponible en línea: 25 de julio de 2016.

CARVAJAL Rowan, Alicia; Zapattini Irala, Claudia; Quintero Zamora, Carolina. “Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de aguas residuales en el municipio de Mizque, Bolivia”. Máster en Estrategias y Tecnologías para el Desarrollo UPM-UCM, 2018.

BANERJEE, G and S. Sarker. The role of salvinia rotundifolia in scavenging aquatic Pb (II) pollution: a case study. Bioprocess and Biosystems Engineering, 17(5):295–300, 1997. 228, 235

BOLANOS, H, Casas, J, and Aguirre, N. Análisis comparativo de la remoción de un sustrato orgánico por las macrofitas *pistia stratiotes* y *egeria* densa en un sistema batch. Gestión y Ambiente, 11(2):39–48, 2008. 223, 224, 227, 235

BRIX, H. and H. Schierup. The use of aquatic macrophytes in water-pollution control. In Ambio. Stockholm, volume 18, pages 100–107, 1989. 223, 224, 226, 237.

DELGADO, M., M. Bigeriego, and E. Guardiola. Uptake of zn, cr and cd by water hyacinths. Water Research, 27(2):269–272, 1993. 228, 235.

DÍAZ Cuenca, Elizabeth, Alvarado Granados, Alejandro Rafael, Camacho Calzada, Karina Elizabeth. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. Centro de Estudios en Planeación Territorial,

Facultad de Planeación Urbana y Regional. Universidad Autónoma del Estado de México, México.

DIAZ Medina, Ana Cecilia; Sotomayor Maguiña, Lenin Fabio, “Evaluación de la Eutrofización de la laguna Conococha – Ancash”, Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Ambiental, Huaraz, Ancash, Perú Julio 2013.

DÍAZ Mendoza, Emmanuel Jaciel, Humedales artificiales como sistema de tratamiento de aguas residuales Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Cd. Mx., 2018.

ELLIS, J., R. Shutes, D. Revitt, and T. Zhang. Use of macrophytes for pollution treatment in urban wetlands. *Resources, conservation and recycling*, 11(1-4):1– 12, 1994. 223

ESPINOSA Ortiz, Camilo Eduardo, “Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes” Tesis para optar el grado de Maestría en Ingeniería Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería - Julio Garavito. Énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, Bogotá D.C. 2014.

FERNANDEZ, J. Filtro autoflotante de macrofitas para la depuración de aguas residuales. pages 171–180, 2001. 224, 225, 230, 232.

FRERS, C. El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. *Observatorio Medioambiental*, 11:301–305, 2008. 224.

JARAMILLO Jumbo, Mariuxi del Cisne Flores Campo verde, Edison Darío Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera., 2012. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>.

LYON S. Goldman C. Gersberg R., Elkins B. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. *Water Research*, 20(3):363–368, 1986. 223.

LLAGAS, W.A. y Guadalupe, E. “Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM”. 2006. *Revista del instituto de investigaciones FIGMMG*. Vol 15. No. 17 paginas 85-96.

LLANOS Bonilla, Guillermo, Propuesta de Instalación Hidráulica Sanitaria para la Reutilización de Aguas Grises y aprovechamiento de Agua Pluvial en Unidades Habitacionales ubicadas en la Ciudad de México Tesis para obtener el grado de: Maestro

en Ingeniería Civil – Gestión Administrativa de la Construcción, Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría y Doctorado, México, enero, 2012.

MAINE, M., M. V Duarte, and N. L Suñ'e. Cadmium uptake by floating *macrophytes*. Water research, 35(11):2629–2634, 2001. 228, 235

MEDINA Abregu, Freddy Emerson; López Barbarán, Erwin. "Determinación de la eficiencia del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en el barranco del sector cruce de Uchuglla, de la ciudad de Moyobamba 2013", Tesis para obtener el título profesional de: Ingeniero Sanitario Universidad Nacional De San Martín- Tarapoto, Facultad de Ecología. Moyobamba- Perú 2015.

MERCADO Cisneros, Mercedes. La Identidad de las Ciudades a Través de los Objetos Urbanos, Tesis para obtener el grado de doctor en Filosofía con orientación en Arquitectura y asuntos Urbanos, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Arquitectura. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, abril 2012.

MILLER, G. Tyler, 2005, "Living in the environment", 14 edition, USA.

Evaluación de la eficiencia en el... (PDF Download Available). Available from: https://www.researchgate.net/publication/322964639_Evaluacion_de_la_eficiencia_en_el_tratamiento_de_aguas_residuales_para_riego_mediante_humedales_Artificiales_de_flujo_libre_superficial_FLS_con_las_especies_Cyperus_Papyrus_y_Phragmites_Australis_en_C [accessed May 16 2018].

MIGLIO Toledo, Rosa María, Villarroel Cárdenas, Juan José, "Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas mediante humedales artificiales en la Comunidad de Rumichaca", III Diplomado en Saneamiento Sostenible Trabajo Monográfico Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola Departamento de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible. Lima, noviembre 2012.

MIGLIO, R and M. Mellisho. Evaluacion de la capacidad depuradora de tres macrofitas acuáticas en pantanos artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Editorial Agraria, page 158, 2003. 223, 237.

NEBEL, Bernard J. Ciencias Ambientales, ecología y desarrollo sostenible. Ed. Prentice Hall. P. 311-313. 2 OKOBALL DE LAVAR. ¿Cómo funciona? Disponible en la World Wide Web

http://www.okoballdelavar.es/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=65. Consultado el 2 de septiembre de 2009.

OKOBALL de Lavar. ¿Cómo funciona? Disponible en la World Wide Web http://www.okoballdelavar.es/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=65. Consultado el 2 de septiembre de 2009.

PAITAN de la Cruz, Luis Ángel; Palomino Barrientos, Diana Carolina. “Remoción de Arsénico del agua potable del distrito de Quero provincia de Jauja, por el método de electrocoagulación, a nivel de laboratorio”. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo – Perú 2017.

PAREDES Salazar, José Luis, Optimización de la Fitorremediación de Mercurio en Humedales de Flujo Continuo empleando *Eichhornia crassipes* "Jacinto de Agua". Tesis para optar el grado de: Magister en Ciencias de Agroecología Mención Gestión Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María - Perú 2015.

PETERSON, S and J. Teal. The role of plants in ecologically engineered wastewater treatment systems. *Ecological Engineering*, 6(1-3):137–148, 1996. 223, 226, 238

RAHMAN, M. A. and Hasegawa, H. Aquatic arsenic: Phytoremediation using floating macrophytes. *Chemosphere*, 85(5):633–646, 2011. 224, 235

RAMOS, Y.*; Uribe, I., Planta piloto para tratamiento de aguas residuales industriales de ACESCO por medio de humedales contruidos – láminas filtrantes® Acerías de Colombia - ACESCO & Cía. S.C.A. Parque Industrial Malambo- PIMSA. Km 3 Vía Malambo-Sabana Grande

Disponible en:
<https://guayacan.uninorte.edu.co/divisiones/Ingenierias/IDS/upload/File/Memorias%20II-SIIR/7b-Ramos-Colombia-001.pdf>.

SEDALIB, Memoria Institucional, 2017. Disponible en:
<http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/22019/20190208-3882954752.pdf>

SANDOVAL M. Celis J., Junod J. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria*, 14:17–25, 2005. 224, 227, 236, 237.

- SATYAKALA, G.** and K. Jamil. Studies on the effect of heavy metal pollution on *pistia statiotes* l.(water lettuce). Indian Journal of Environmental Health, 39(1):1–7, 1997. 228
- SCHNEIDER, I.** and J. Rubio. Sorption of heavy metal ions by the nonliving biomass of freshwater macrophytes. Environmental Science & Technology, 33(13):2213–2217, 1999. 228
- SOTO** Aguilar, Wendy, Sistemas de tratamiento de aguas grises domésticas, como una alternativa para la seguridad hídrica de Tijuana. Tesis presentada para obtener el grado de: Maestra en Administración Integral del Ambiente, México 2012.
- TORRES** Calderón Jesús, “Fitorremediación de aguas residuales por hidroponía” Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias en ingeniería ambiental. Méjico DF – 2009.
- TORRES** Guerra, Jocelin, et al. Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante Humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapongo, EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lurigancho, Lima. Recibido 10 de junio de 2015, aceptado 10 de agosto de 2015 Received: June 10, 2015 Accepted: August 10, 2015.
- UNAD**, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Una Mirada a la Fitorremediación en Latinoamérica, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, ECAPMA, Programa Especialización en Biotecnología Agraria Zipaquirá, 2017.
- VIDAL-ABARCA, M.R.**, Suárez, M.L. & Gómez, R. 2000. Los humedales: Ecosistemas para conservar. En: Biodiversidad. Contribución a su conocimiento y conservación en la Región de Murcia, pp. 149-162. (Eds. Calvo, J.F.; M.A. Esteve; F. López Bermúdez). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. España.
- VILLARROEL** Ávalos, Cesar, Tratamiento terciario del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales el Cortijo para uso agrícola con humedales construidos de flujo superficial, Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Postgrado Programa Doctoral en Medio Ambiente, trabajo presentado al XXI Congreso Interamericano de Ingeniería Química – abril 2005 sección: Tratamiento de efluentes, Lima – Perú 20.
- Disponible en: <http://www.fundacionkennedy.cl/que-son-los-humedales/>.
- www.sedalib.com.pe/upload/drive/12017/20170131-6629297152.pdf
- <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1¬>

e=36.

VIII. ANEXOS

Tabla N° 8.1. Instrumentos de recolección de datos

DATOS GENERALES	Universidad Cesar Vallejo	Ingeniería Ambiental
TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION	“Remoción de nitritos y fosfatos por las plantas acuáticas, <i>Typha angustifolia</i> (Totora), <i>Hidrocótula bonariensis</i> (Redondita de agua) y <i>Cyperus rotundus</i> (Cebollin), en aguas de humedales artificiales - Trujillo”	
INVESTIGADORES	Alfaro Pereda, Kiara Arellano Zapata, Cristhian	
INSTRUCCIONES	Registrar la información obtenida en la presente investigación.	
Mediciones	Fecha:	Lugar:
Plantas acuáticas: <i>Typha angustifolia</i>	Concentración inicial	Fosfatos: 1.0 ppm Nitritos: 0.10 ppm

(Totora), <i>Hidrocótula bonariensis</i> (Redondita de agua) y <i>Cyperus rotundus</i> (Cebollin)	Concentración de nitritos y fosfatos a los 7, 14, 21, 28 y 35 días.	Fosfatos: M1: M2: M3: Nitritos: M1: M2: M3:			
	Remoción	$R = M_0 - M_i$			
PROCEDIMIENTO: Los análisis pre tratamiento pos tratamiento se realizaron en el laboratorio E-403 de Química.					
FITORREMEDIACION:		Remoción promedio	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
RESULTADOS:	Parámetros				
	Nitritos				
	Fosfatos				
OBSERVACIONES:					

Tabla N° 8.2. Instrumento de recolección de datos.

DATOS GENERALES	Universidad Cesar Vallejo	Ingeniería Ambiental
TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION	“Remoción de nitritos y fosfatos por las plantas acuáticas, <i>Typha angustifolia</i> (Totora), <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua) y <i>Cyperus rotundus</i> (Cebollin), en aguas de humedales artificiales -Trujillo”	
INVESTIGADORES	Alfaro Pereda, Kiara Arellano Zapata, Cristhian	
INSTRUCCIONES	Registrar la información obtenida en la presente investigación.	
Mediciones	Fecha:	Lugar:
Plantas acuáticas: <i>Typha angustifolia</i> (Totora),	Concentración inicial	Fosfatos: 1.0 ppm Nitritos: 0.10 ppm

<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua) y <i>Cyperus rotundus</i> (Cebollin) Densidad= 33 plantas/m ²	Concentración de nitritos y fosfatos a los 7, 14, 21, 28 y 35 días.	Fosfatos: M1: M2: M3: ... Nitritos: M1: M2: M3: ...			
	Remoción	R = (M ₀ - M _i)			
PROCEDIMIENTO: Los análisis pre tratamiento pos tratamiento se realizaran en un laboratorio.					
FITORREMEDIACIÓN:		Remoción promedio	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
RESULTADOS:	Parámetros				
	Nitritos				
	Fosfatos				
OBSERVACIONES:					

8.1 Procedimiento

La construcción de los tres humedales artificiales con las plantas acuáticas *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin); en depósitos de 100 litros de capacidad a los cuales se agregó 50 litros de una disolución preparada en laboratorio de concentraciones de 0.1011 ppm en nitritos y 1.003 ppm en fosfatos antes de iniciar el tratamiento M_0 ; después cada siete días, 7, 14, 21, 28 y 35 días, se tomaron muestras y analizaron las concentraciones de nitritos y fosfatos M_i , utilizando el Espectrofotómetro UNICO 2800 UV-Vis. Estas pruebas se realizaron por triplicado.

Los análisis de fosfatos y nitritos en aguas grises tomadas como referencia para la presente investigación se realizaron en el laboratorio prestigiado RIVELAB. La remoción de fosfatos y nitritos se realizaron utilizando la siguiente ecuación:

Calculo de la remoción “R” = $(M_0 - M_i)$

8.1.1 Preparación de la solución a 0.1011 ppm de nitritos

La solución se preparó a partir de nitrito de sodio NaNO_2^- , tomando como base un litro de

solución, pesando 0.1516 g de nitrito de sodio y disolviendo hasta el volumen de 1 litro, lo cual hace una solución de 151.6 mg/L (151.6 ppm); de esta solución tomamos 10 ml y disolvemos nuevamente hasta 100 litro, obteniendo una solución de 0.1011 ppm de NO_2^- . Esto se replicó para obtener los 200 litros usados:

$$\text{NO}_2^- = (46.005 \text{ g NO}_2^- / 68.9953 \text{ g Na NO}_2) * 0.1516 \text{ mg Na NO}_2 = 0.1011 \text{ mg NO}_2^-$$

Que disuelto hasta un litro de solución da una concentración de nitritos de 0.1011 ppm.

8.1.2 Preparación de la solución a 1.003 ppm de fosfatos

La solución se preparó a partir de fosfato ácido de sodio dodecahidratado, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, pesando 0.3645 g el cual contiene 0.1003 g de fosfato de sodio y disolviendo hasta un volumen de 1 litro, haciendo una solución de concentración en fosfatos de 100.3 ppm, de esta solución se tomó 1000 ml y se preparó la solución hasta 100 litros, obteniendo la solución de fosfatos a trabajar con una concentración de 1.003 ppm. Esto se replicó para los 200 litros.

$$\begin{aligned} (\text{PO}_4^{3-}) &= (94.969 \text{ g PO}_4^{3-} / 358.14 \text{ g Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) * 3.645 \text{ mg Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} \\ &= 1.003 \text{ mg PO}_4^{3-} \end{aligned}$$

Los cuales se disolvieron hasta el volumen de un litro dando una solución de concentración de fosfatos de 1.003 ppm.

8.1.3 Preparación de curva de calibración de Fosfatos.

Se preparó una solución de 5 ppm de fósforo a partir de una solución de 50 ppm de fósforo.

Preparación de la solución de 50 ppm de fósforo en 250 ml:

$$50 \text{ ppm P} = \frac{50 \text{ mg P}}{\text{L}} * 0.250 \text{ L} * \frac{1 \text{ g P}}{1000 \text{ mg P}} = 0.0125 \text{ g P}$$

A partir del reactivo: $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$:

$$\text{g Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} = \text{g de Fósforo} * \frac{(\text{peso molec. Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O})}{\text{Peso molecular P}}$$

$$\text{g Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} = 0.0125 \text{ g P} * 358.14 \text{ g} / 30.97 \text{ g}$$

$$g \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O} = 0.1446 \text{ g de Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}$$

El cual se pesó y aforo a 250 ml obteniendo una solución de 50 ppm de P.

Dilución de 50 ppm de la solución de fósforo a 5 ppm en 250 ml:

$$\begin{aligned} C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ 50 \text{ ppm P} * V_1 &= 5 \text{ ppm P} * 250 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$V_1 = 25 \text{ ml; de la solución de 50 ppm de P.}$$

Toma los 25 mL y aforando a 250 ml obtiene la solución de 5 ppm de fósforo que fue la nuestra solución madre para la curva.

Curva de calibración. (Muestras aforadas a 25 ml):

$$\begin{aligned} C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ 5 \text{ ppm P} * V_1 &= 0.1 \text{ ppm P} * 25 \text{ mL} \\ V_1 &= 0.5 \text{ ml (de la solución de 5 ppm de P que se debe tomar)} \\ &\text{y aforar a 25 mL.} \end{aligned}$$

De este mismo modo se calcula para preparar las concentraciones de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7 y 0.8 ppm de P para la gráfica.

8.1.4. Curva de calibración de fosfatos a 660 nm

El método consiste en tomar un volumen de la muestra, calculada con la ecuación de dilución, agregar 5 ml de bicarbonato de sodio NaHCO_3 , 5 mililitros de molibdato de amonio, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ y un mililitro de cloruro estannoso SnCl_2 diluido, se mezclan y se aforo a 25 mL con agua destilada, se agita por 15 minutos para eliminar el gas dióxido de carbono.

Tabla 8.3. Soluciones para la obtención de la curva de absorción

Fiola	25 ml de solución ppm de PO_4^{3-}	ml a tomar de Solución 5 ppm PO_4^{3-}	Absorbancia (660 nm)
1	0	0 (blanco)	0
2	0.1	0.5	0.050
3	0.2	1.0	0.063

4	0.3	1.5	0.091
5	0.4	2.0	0.150
6	0.5	2.5	0.167
7	0.7	3.5	0.262
8	0.8	4.0	0.270
9	1.0	5.0	0.337

Fuente: Propia

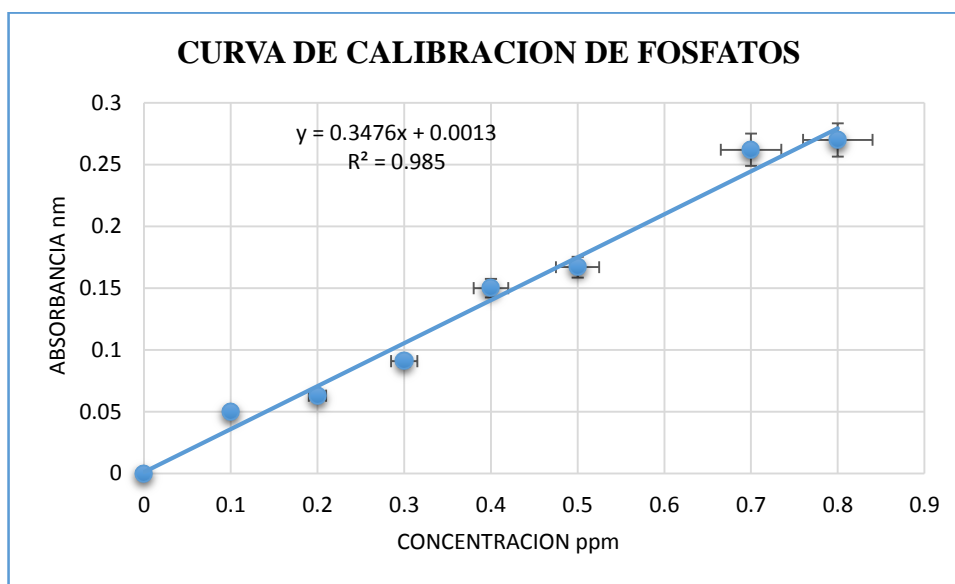


Figura N° 8.1: Curva de absorción de fosfatos a 660 nm

Los tres humedales artificiales fueron contruidos con las plantas acuáticas *Typha angustifolia* (Totora), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Cyperus rotundus* (Cebollin); en depósitos de 100 litros de capacidad a los cuales se agregó 50 litros de una disolución preparada en laboratorio de concentraciones de 0.1011 ppm en nitritos y 1.003 ppm en fosfatos antes de iniciar el tratamiento M_0 ; después cada siete días, 7, 14, 21, 28 y 35 días, se tomaron muestras y analizaron las concentraciones de nitritos y fosfatos M_i , utilizando el Espectrofotómetro UNICO 2800 UV-Vis. Estas pruebas se realizaron por triplicado.

Los análisis de fosfatos y nitritos en aguas grises de referencia para la presente investigación se realizaron en el laboratorio RIVELAB. La remoción de fosfatos y nitritos se realizaron utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Calculo de la remoción "R"} = (M_0 - M_i)$$

8.2. Evaluación del grado de remoción de fosfatos a diferentes tiempos

Tabla 8.4. Remoción de fosfatos a 660 nm en el tiempo

Tiempo de tratamiento (Días)	PO ₄₋₃ Remoción (ppm)					
	<i>Typha angustifolia</i> (<i>Totora</i>)		<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)		<i>Cyperus rotundus</i> (Cebollin)	
Especies	En solución ppm	Remoción	En solución	Remoción	En solución	Remoción
0	1.003	0	1.003	0	1.003	0
7	0.983	0.02	0.964	0.039	0.988	0.015
14	0.935	0.068	0.907	0.096	0.959	0.044
21	0.729	0.274	0.686	0.317	0.768	0.235
28	0.701	0.302	0.528	0.475	0.748	0.255
35	0.585	0.418	0.374	0.629	0.715	0.288
PO₄₋₃ (%)	58.33	41.67	37.29	62.71	71.29	28.71

Fuente: Elaboración Propia

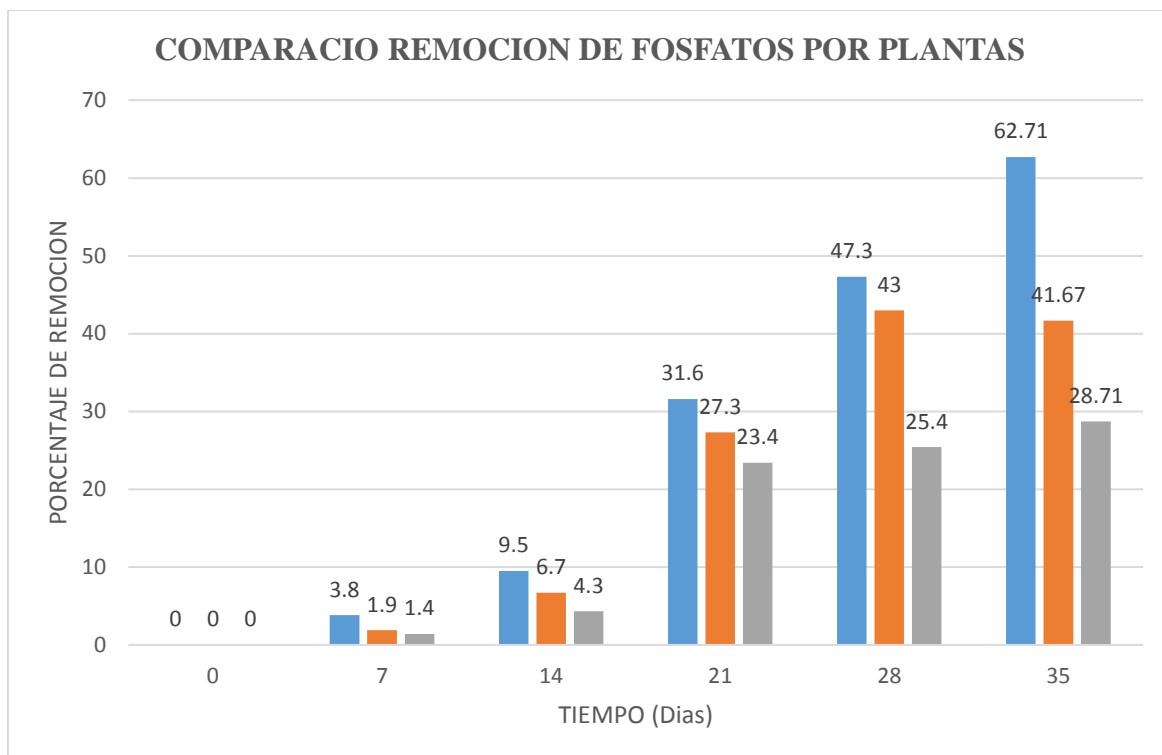


Figura 8.2. Se observa la remoción de fosfatos por *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Typha angustifolia* (Totora), *Cyperus rotundus* (Cebollin) de los humedales artificiales a través del tiempo

8.3. Curva de calibración de nitritos a 543 nm

El método consiste en la reacción del ion nitrito (NO_2^- ; con sulfanilamida a pH 2.0 - 2.5, formando un compuesto diazotado y su copulación con diclorhidro de N- (1-naftil)-etilendiamina (dlchlorhidrato de NED) produce un azo colorante púrpura rojizo.

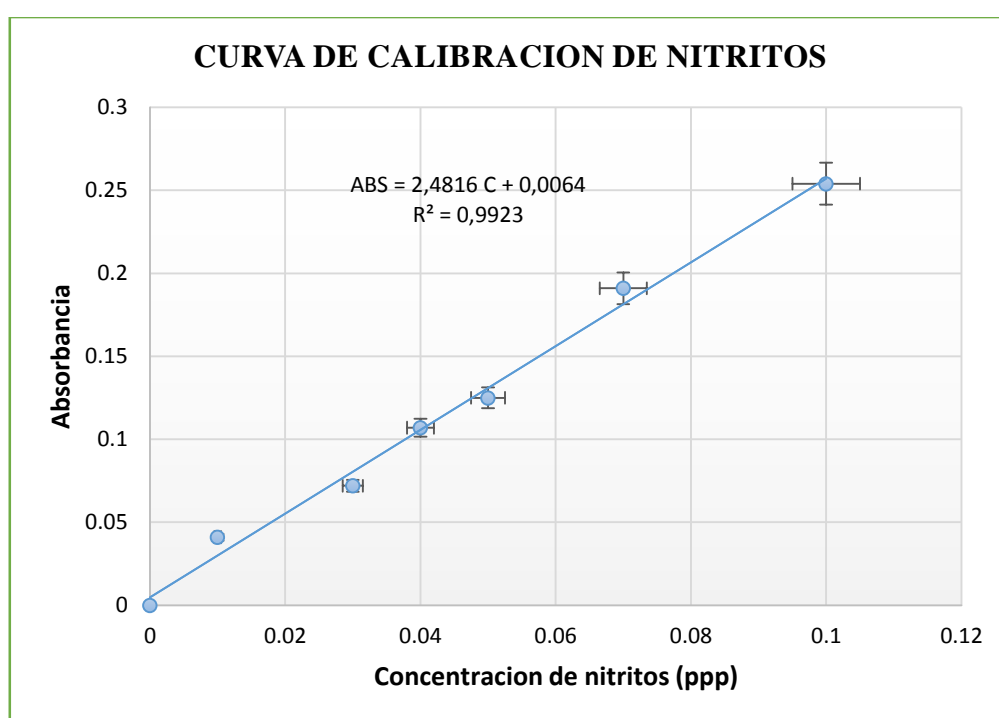
Se prepara una solución madre de nitrito utilizando nitrito de sodio NaNO_2 , 99.96% de pureza; disolviendo 0.4950 g de nitrito de sodio en 1L y se obtuvo una concentración de 328.68 ppm de nitrito NO_2 . De esta solución madre se preparan 50 mL de soluciones diluidas de 0.01, 0.03, 0.04, 0.05, 0.07 y 0.10 ppm a las cuales se les mide la absorbancia de manera repetida obteniéndose los siguientes valores:

Tabla 8.5. Recta de calibrado de nitritos a 543 nm

Nitritos (ppm NO_2^-)	Absorbancia
0	0
0.01	0.044

0.03	0.062
0.04	0.109
0.05	0.123
0.07	0.189
0.10	0.252

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

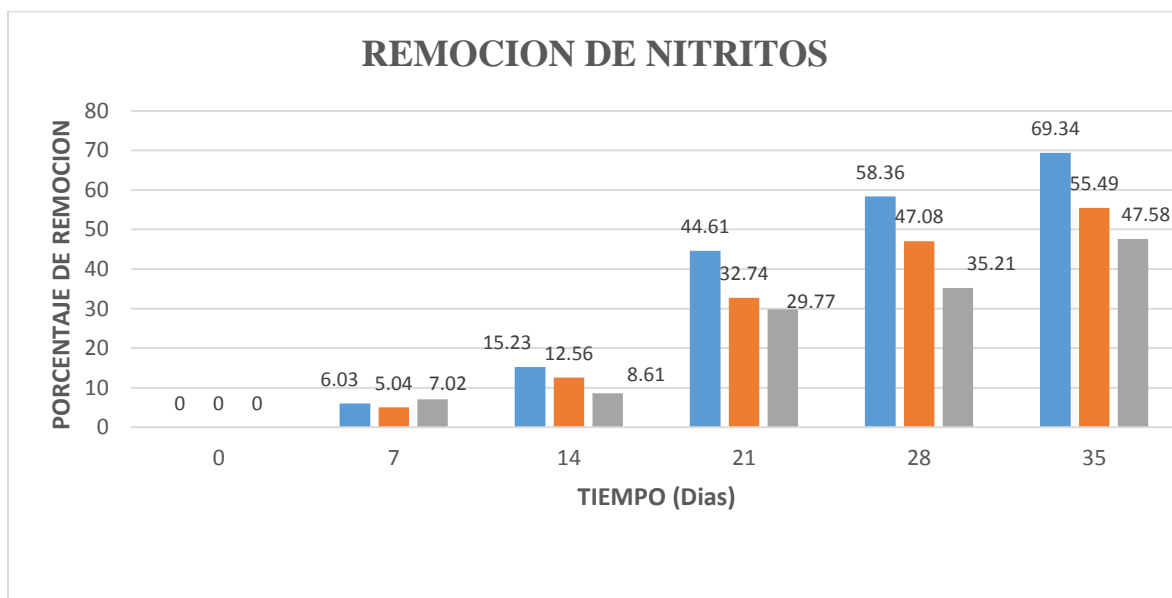


Figura N° 8.3. Recta de calibración para nitritos a 543 nm

Tabla 8.6. Remoción de nitritos presentes en una solución acuosa.

Tiempo de tratamiento (Días)	NO ₂ - Resultante (ppm)					
Especies	<i>Typha angustifolia</i> (Totora)		<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)		<i>Cyperus rotundus</i> (Cebollin)	
	En solución ppm	Remoción	En solución	Remoción	En solución	Remoción
0	0.1011	0	0.1011	0	0.1011	0
7	0.0960	0.0051	0.0950	0.0061	0.0940	0.0071
14	0.0884	0.0127	0.0857	0.0154	0.0924	0.0087
21	0.0680	0.0331	0.0560	0.0451	0.0710	0.0301
28	0.0535	0.0476	0.0414	0.059	0.0655	0.0356
35	0.0450	0.0561	0.0310	0.0701	0.0530	0.0481
NO₂- (%)	44.51	55.49	30.66	69.34	52.42	47.58

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

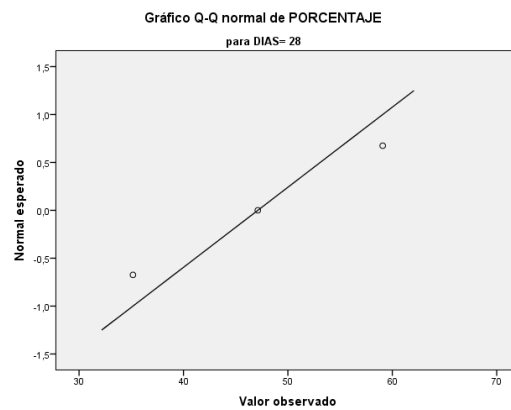
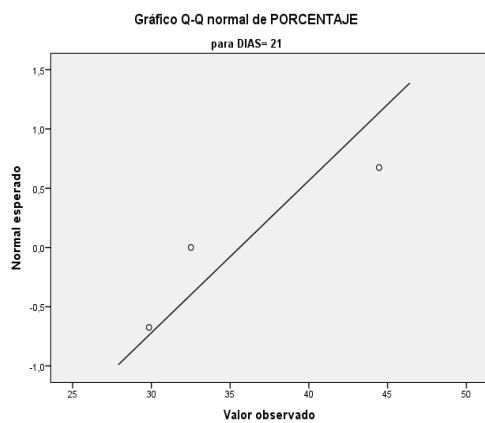
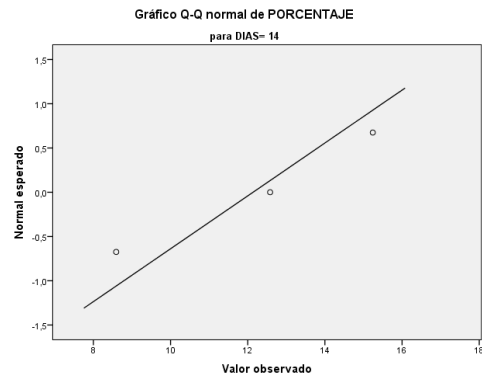
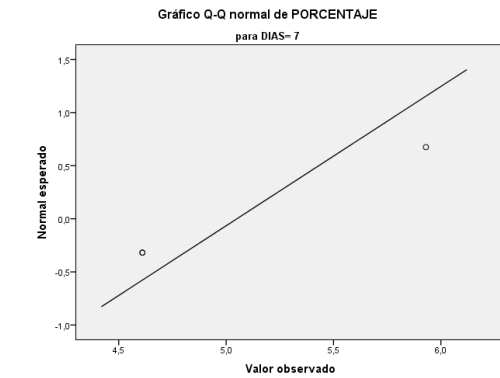
Figura N° 8.4. Grafico donde se observa los porcentajes de remoción de nitritos por *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Typha angustifolia* (Totora), *Cyperus rotundus* (Cebollin) semana donde la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) remueve la mayor cantidad de porcentaje durante los 7, 14, 21, 28 Y 35 días.

ANALISIS ESTADISTICO

Prueba de Normalidad Nitritos

Pruebas de normalidad Nitritos				
Días		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje	7	,750	3	,070
	14	,987	3	,780
	21	,881	3	,328
	28	1,000	3	1,000
	35	,972	3	,678
a. Corrección de la significación de Lilliefors				

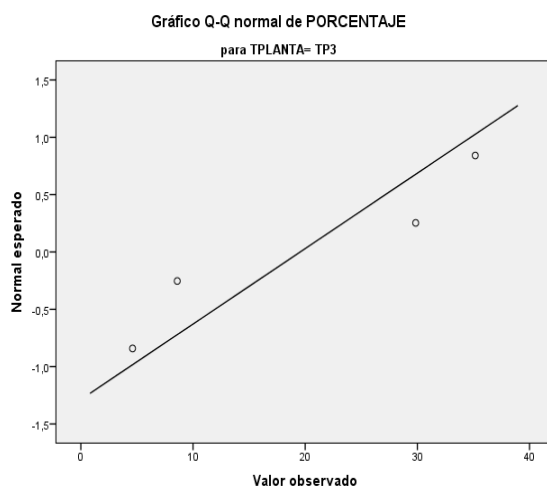
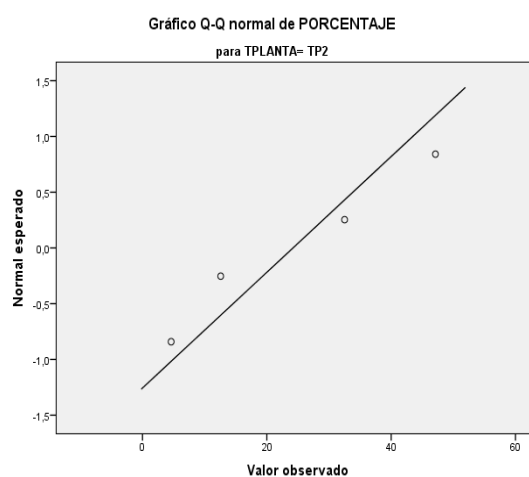
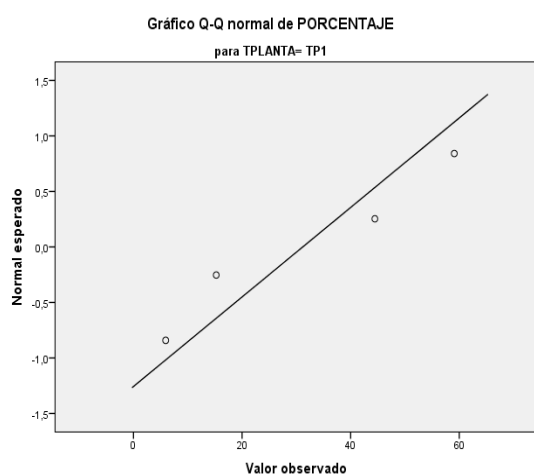
Como se observa los valores obtenidos son $p > 0.05$ cumpliendo así el supuesto de normalidad



Pruebas de normalidad Nitritos				
Por Tipo de Planta		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje	TP1	,928	4	,581
	TP2	,951	4	,720
	TP3	,868	4	,291

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Como se observa los valores $p > 0.05$ cumpliendo así el supuesto de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas Nitritos

Porcentaje

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2,281	3	8	,156

Como los valores $p > 0.05$ entonces cumplen con el homogeneidad

Prueba de homogeneidad de varianzas

Fosfatos

Porcentaje

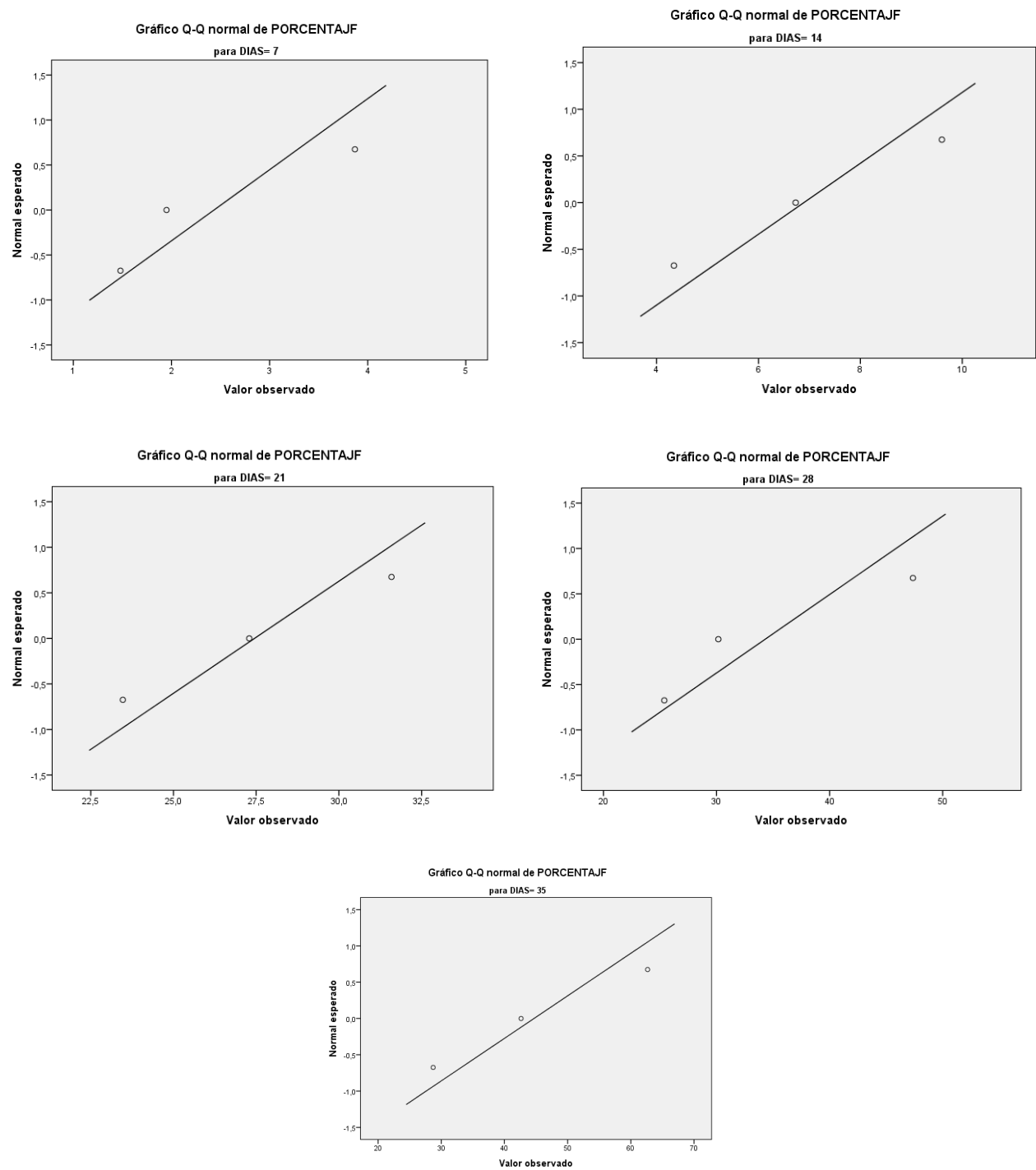
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1,358	2	12	,294

Como los valores $p > 0.05$ entonces cumplen con el supuesto de homogeneidad

Prueba de normalidad para Fosfato

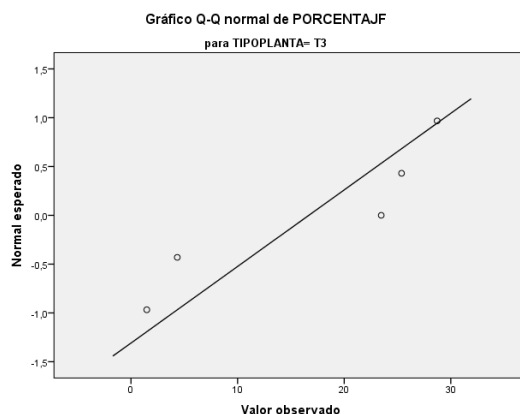
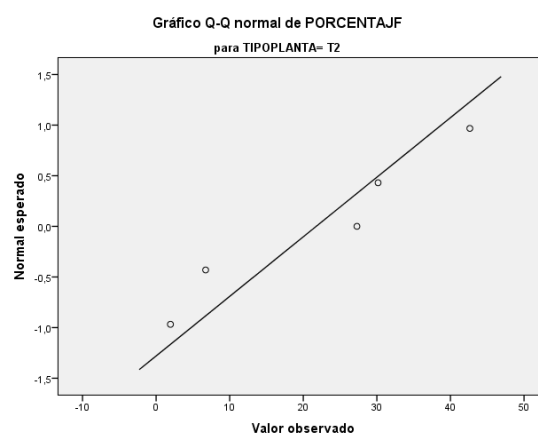
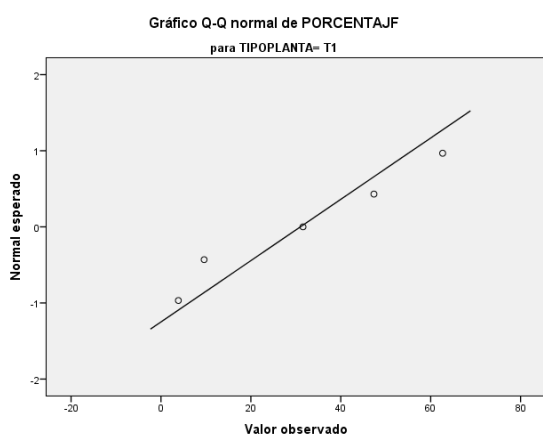
Pruebas de normalidad Fosfato				
Días		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje	7	,891	3	,357
	14	,997	3	,899
	21	,999	3	,935
	28	,904	3	,398
	35	,989	3	,802

Como se observa los valores $p>0.05$ cumpliendo así el supuesto de normalidad



Pruebas de normalidad Fosfato				
Por Tipo de Planta		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje	T1	,942	5	,682
	T2	,925	5	,565
	T3	,827	5	,132

Se observa que como el valor $p > 0.05$ por lo tanto se acepta el supuesto de homogeneidad de varianza y procedemos a realizar el ANOVA



ANÁLISIS DE VARIANZA NITRITOS

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tipo planta	0,049	2	0,024	9,366	0,008	4,459
Días	0,600	4	0,150	57,888	0,000	3,838
Error	0,021	8	0,003			
Total	0,670	14				

Se observa que el valor de la probabilidad ($p < 0.05$) entonces se acepta la H1

ANÁLISIS DE VARIANZA FOSFATO

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tipo Planta	0,053	2	0,027	5,703	0,029	4,459
Días	0,386	4	0,096	20,680	0,000	3,838
Error	0,037	8	0,005			
Total	0,476	14				

Se observa que el valor de la probabilidad ($p < 0.05$) entonces se acepta la H1

Prueba Tukey Nitritos: Porcentaje de Remoción de nitritos

HSD de Tukey tipos de planta

Tipo de planta	N	Subconjunto para $\alpha = 0.05$
		1
TP3	4	19,5525
TP2	4	24,2050
TP1	4	31,1775
Sig.		,703

Donde podemos observar que el mejor tratamiento ha sido con la planta Tipo 1

HSD de Tukey número de días, **porcentaje de Remoción de Fosfatos**

Días	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
7	3	5,0500	
14	3	12,1367	
21	3		35,6067
28	3		47,1200
35	3		57,3067
Sig.		,653	,292

Donde podemos observar que el mejor resultado se obtuvo al día 35

Prueba Tukey Fosfatos

PORCENTAJE

HSD de Tukey

DIAS	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
7	3	2,4333	
14	3	6,8900	
21	3	27,4500	27,4500
28	3		34,3033
35	3		44,6700
Sig.		,055	,246

Donde podemos observar que el mejor resultado se obtuvo al día 35

HSD de Tukey, Porcentaje de Remoción de Fosfatos

Tipo Planta	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	
T3	5		16,6780
T2	5		21,7520
T1	5		31,0180
Sig.			,474

Donde podemos observar que el mejor tratamiento ha sido con la planta Tipo 1

Cinética de la Remoción

La absorción (remoción) responde a una ecuación cinética de primer orden:



$$v(t) = -dA/dt = k[A]$$

donde:

$$\ln [A] / [A_0] = -kt$$

Tabla N° 9. Determinación de la constante k de la cinética de absorción k; por *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)

Tiempo Días	Absorción mg/L	-log[Ai/Ao]
0	0.000	0.000
7	0.039	1.4103
14	0.096	1.0190
21	0.317	0.5002
28	0.475	0.3246
35	0.629	0.2027

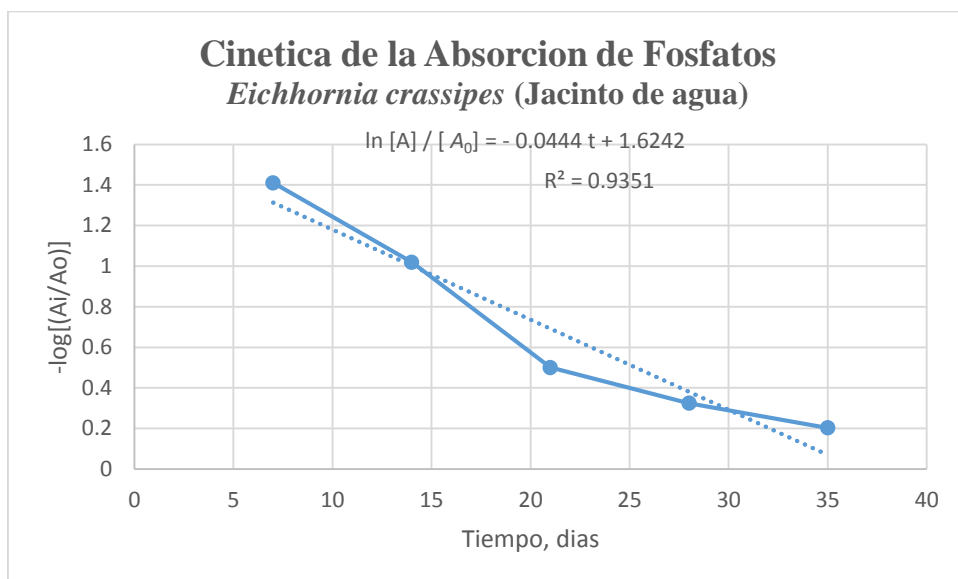


Figura 7. Se observa la cinética de remoción de fosfatos de los humedales artificiales por *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) a través del tiempo

De la ecuación se determina el valor de la constante k: -0.0444

Tabla N° 10. Determinación de la constante k de la cinética de absorción k; *por Typha angustifolia (Totora)*

Tiempo Días	Absorción mg/L	-log[Ai/Ao]
0	0.00	0.000
7	0.020	1.701
14	0.068	1.169
21	0.274	0.564
28	0.302	0.521
35	0.418	0.38

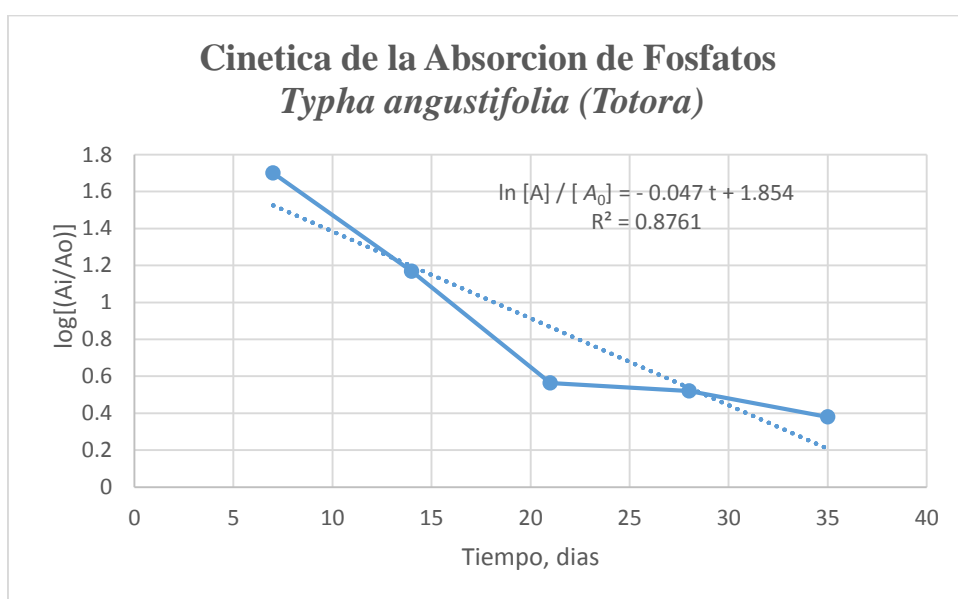


Figura 8. Se observa la cinética de remoción de fosfatos de los humedales artificiales por *Typha angustifolia (Totora)* a través del tiempo

De la ecuación se determina el valor de la constante k: -0.047

Tabla N° 11. Determinación de la constante k de la cinética de absorción k; *por Cyperus rotundus (Cebollin)*

Tiempo Días	Absorción mg/L	-log[Ai/Ao]
0	0.00	0.000
7	0.015	1.825
14	0.044	1.358
21	0.235	0.630
28	0.255	0.595
35	0.288	0.542

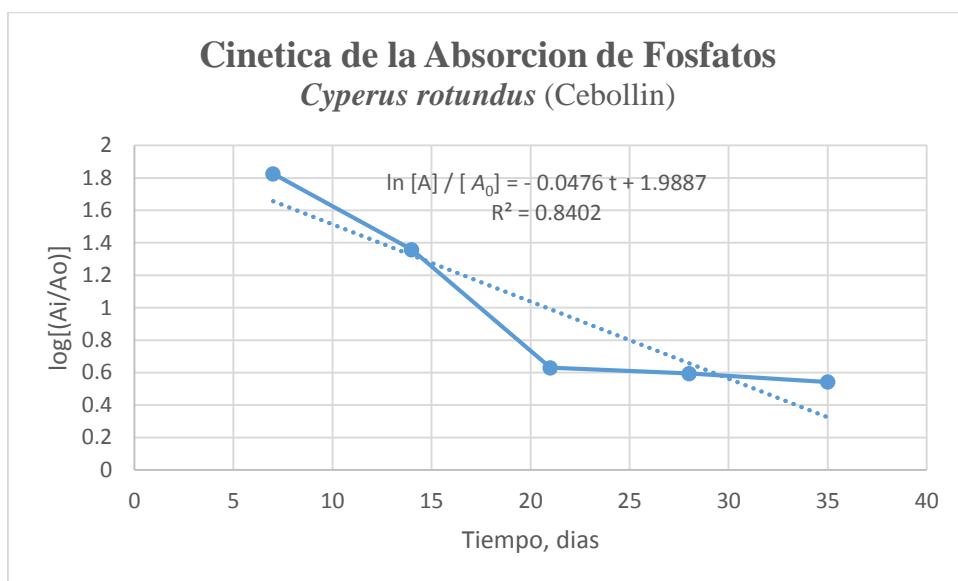


Figura 9. Se observa la cinética de remoción de fosfatos de los humedales artificiales por *Cyperus rotundus* (Cebollin) a través del tiempo

De la ecuación se determina el valor de la contante k: -0.0476

7 DÍAS								
		ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS PRO M	CONCENT. DILUCION(PPM) A 7 DIAS	CONCENT. REAL(PPM) A 7 DIAS	REMOC. %
BLANCO	0,12 0	-	-	-				
<i>Eichhornia crassipes</i>	M1	0,03 0	0,02 9	0,031	0,030	0,010	0,095	5,93%
<i>Typha angustifolia</i>	M2	0,03 1	0,03 1	0,029	0,030	0,010	0,096	4,61%
<i>Cyperus rotundus</i>	M3	0,03 0	0,03 0	0,031	0,030	0,010	0,096	4,61%

14 DÍAS							
	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS PROM	CONCENT. DILUCION(PPM) A 14 DIAS	CONCENT. REAL(PPM) A 14 DIAS	REMOC. %
	-	-	-				
<i>Eichhornia crassipes</i>	0,028	0,028	0,027	0,0277	0,0086	0,0857	15,24%
<i>Typha angustifolia</i>	0,029	0,028	0,028	0,0283	0,0088	0,0884	12,58%
<i>Cyperus rotundus</i>	0,029	0,031	0,028	0,0293	0,0092	0,0924	8,59%

21 DÍAS							
	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS PROM	CONCENT. DILUCION(PPM) A 7 DIAS	CONCENT. REAL(PPM) A 7 DIAS	REMOC. %
	-	-	-				
<i>Eichhornia crassipes</i>	0,020	0,021	0,020	0,020	0,006	0,056	44,46%
<i>Typha angustifolia</i>	0,024	0,023	0,023	0,023	0,007	0,068	32,51%
<i>Cyperus rotundus</i>	0,024	0,024	0,024	0,024	0,007	0,071	29,85%

28 DÍAS							
	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS PROM	CONCENT. DILUCION(PPM) A 14 DIAS	CONCENT. REAL(PPM) A 14 DIAS	REMOC. %
	-	-	-				
<i>Eichhornia crassipes</i>	0,017	0,016	0,017	0,0167	0,0041	0,0414	59,08%
<i>Typha angustifolia</i>	0,019	0,019	0,021	0,0197	0,0053	0,0535	47,12%
<i>Cyperus rotundus</i>	0,022	0,023	0,023	0,0227	0,0066	0,0655	35,16%

7 DÍAS								
		ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS PROM	CONCENT. DILUCION(PPM) A 7 DIAS	CONCENT. REAL(PPM) A 7 DIAS	REMOC. %
BLANCO	0,092	-	-	-				
<i>Eichhornia crassipes</i>	M1	0,068	0,068	0,069	0,068	0,193	0,964	3,87%
<i>Typha angustifolia</i>	M2	0,07	0,069	0,07	0,070	0,197	0,983	1,95%
<i>Cyperus rotundus</i>	M3	0,071	0,07	0,069	0,070	0,198	0,988	1,48%

14 DÍAS							
	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS PROM	CONCENT. DILUCION(PPM) A 14 DIAS	CONCENT. REAL(PPM) A 14 DIAS	REMOC. %
	-	-	-				
<i>Eichhornia crassipes</i>	0,064	0,065	0,064	0,064	0,181	0,907	9,60%
<i>Typha angustifolia</i>	0,066	0,067	0,066	0,066	0,187	0,935	6,73%
<i>Cyperus rotundus</i>	0,068	0,068	0,068	0,068	0,192	0,959	4,34%

21 DÍAS						
ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS PROM	CONCENTRACION DILUCION(PPM) A 14 DIAS	CONCENTRACION REAL(PPM) A 14 DIAS	REMOCION %
-	-	-				
0.049	0.049	0.049	0.049	0.137	0.686	31.59%
0.052	0.052	0.052	0.052	0.146	0.729	27.29%
0.054	0.056	0.054	0.055	0.154	0.768	23.47%

28 DÍAS						
ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS PROM	CONCENTRACION DILUCION(PPM) A 14 DIAS	CONCENTRACION REAL(PPM) A 14 DIAS	REMOCION %
-	-	-				
0.038	0.038	0.038	0.038	0.106	0.528	47.37%
0.05	0.05	0.05	0.050	0.140	0.701	30.16%
0.054	0.053	0.053	0.053	0.150	0.748	25.38%

